REVUE TECHNIQUE

DE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

1889

PARIS

R. BERNARD & Cie EDITEURS

PREMIÈRE PARTIE

L'ARCHITECTURE

REVUE TECHNIQUE

DE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

DE 1889

PAR UN COMITÉ D'INGÉNIEURS, DE PROFESSEURS
D'ARCHITECTES ET DE CONSTRUCTEURS

CH. VIGREUX, FILS

Ingénieur des Arts et Manufactures
Inspecteur du Service mécanique et électrique à l'Exposition Universelle de 1889
Secrétaire de la Rédaction

ORGANE OFFICIEL

DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE

Tenu à Paris du 16 au 21 Septembre 1889

PARIS

E. BERNARD et Cie, IMPRIMEURS-EDITEURS

53 ter, Quai des Grands-Augustins, 53 ter

1893

INTRODUCTION

L'ouvrage que nous entreprenons aujourd'hui est destiné, comme les Revues techniques qui ont déjà été publiées sur les différentes expositions, à donner avec toute la compétense voulue les descriptions techniques des divers appareils exposés, les renseignements utifes relatifs aux procédés et aux découvertes actuelles.

On a reproché avec raison aux publications précédentes de donner une trop grande importance aux historiques.

Nous nous imposerons la règle de ne faire en aucune façon d'historiques inutiles, ne fournissant aux lecteurs que des renseignements de nature à les éclairer sur la question traitée. Nous prendrons l'industrie telle qu'elle est représentée à l'Exposition universelle de 1889, ne parlant directement que des perfectionnements que certains appareils ont pu subir depuis la dernière exposition de 1878.

Il est un fait que tout le monde constate, ou du moins que tout le monde répète :

L'Exposition de 1889 est plus remarquable par les bâtiments et palais du Champ de Mars que par ce qu'ils renferment.

Sans discuter cette opinion, nous avons pensé qu'à côté de la partie industrielle, cette Revue devait traiter également des constructions métalliques, et, par suite, de l'architecture moderne qui, on peut le dire, vient de trouver sa formule dans les Palais de l'Exposition. Comme conséquence des questions industrielles, à plus d'un point commun, nous avons cru aussi devoir traiter des arts du bâtiment et des grands travaux publics. Ceux-ci ont été de puissants débouchés en même temps que des causes de progrès considérables pour toute l'industrie, spécialement pour la métallurgie et les chemins de fer.

Nous avons voulu, par les quelques lignes qui précèdent, justifier tous les chapitres indiqués dans notre programme que nous allons maintenant analyser en détail.

L'impression résultant des études de tous ceux qui ont visité l'Exposition est, qu'à part quelques inventions récentes, dont on ne peut

encore prévoir tout l'avenir, rien de bien nouveau n'est exposé dans les Palais du Champ de Mars.

A chacune des expositions précédentes, un fait industriel important était venu profondément modifier les procédés mécaniques, chimiques électriques ou autres.

En 1867, c'était la machine Corliss ; — en 1878, le téléphone et les nouveaux procédés de mouture, pour ne parler que des grandes inventions.

L'Exposition de 1889 se fait surtout remarquer par les progrès apportés dans toute la construction mécanique, par des perfectionnements ingénieux, résultats d'une connaissance plus approfondie de toutes les questions techniques, connaissance que l'on doit attribuer aux développements de plus en plus grands que prennent les écoles techniques industrielles.

Nous allons examiner rapidement dans chaque partie projetée de cet ouvrage, l'état actuel des questions industrielles, et nous indiquerons ainsi les principaux sujets que nous aurons à traiter.

Dans la première partie : « Les constructions métalliques dans l'architecture moderne, » nous avons à montrer l'importance de plus en plus grande que prend le fer dans la construction, et à propos des matériaux de construction et de leur emploi, nous donnerons tous les procédés employés actuellement pour les essais de ces matériaux. Dans la partie traitant des échafaudages et des fondations, bon nombre de perfectionnements seront à signaler.

Dans la deuxième partie, nous avons à montrer les nouvelles formes actuelles employées par les architectes, tant pour la construction que pour la décoration. Dans cette même partie, nous traiterons également un sujet : « l'Hygiène, » l'une des sciences dont on s'est le plus occupé depuis la dernière exposition, science qui est loin d'ailleurs d'avoir dit son dernier mot, mais qui offre cependant un intérêt des plus importants pour son avenir industriel, économique et social. L'étude des maisons ouvrières en sera la conséquence.

La troisième partie embrasse tous les grands travaux publics. C'est

actuellement une des branches les plus importantes de l'industrie, et nous aurons à étudier tous les grands ouvrages d'art modernes et tous les grands travaux représentés à l'Exposition universelle. Avec le viaduc de Garabit, la tour Eiffel, le pont sur le Forth, tous les travaux municipaux qui sont de plus en plus à l'ordre du jour, les ports maritimes et fluviaux qui se créent chaque année, cette partie devra être l'une des plus considérables de l'ouvrage, et aussi l'une des plus intéressantes, étant donnés les nombreux renseignements que nous sommes à même de nous procurer par suite des hautes situations occupées par nos éminents collaborateurs.

La quatrième partie traite de la Métallurgie et des Mines. Depuis 1878, époque à laquelle la méthode Bessemer fut appliquée en grand dans les usines métallurgiques et où les procédés Thomas Gilchrist commencèrent à apparaître, bien des progrès ont été réalisés dans cette science. Les procédés Martin Siemens pour la fabrication de l'acier sur sole basique qui s'appliquent davantage de jour en jour et les procédés mentionnés ci-dessus sont cause de ce que l'acier tend de plus en plus à remplacer le fer dans les constructions, et l'avenir paraît être dans son emploi judicieusement fait. Cette partie de la métallurgie du fer, de la fonte et de l'acier, ainsi que de leurs applications à la chaudronnerie renfermera de précieux renseignements pour tous les Ingénieurs et tous les Architectes qui, à l'heure actuelle, ont besoin de connaître toutes les applications de ces métaux ouvragés à l'industrie et à la construction. A côté de la Métallurgie du fer, nous traiterons des petits métaux, des métaux précieux et des alliages industriels qui pour bien des cas spéciaux sont utilement employés dans les sciences et dans l'industrie. Les alliages industriels seront spécialement traités en vue de toutes les applications qu'ils peuvent rencontrer dans les arts mécaniques et électriques.

Enfin la partie concernant les Mines, la Minéralogie et la Géologie sera surtout étudiée, pour ce qui est de l'exploitation des mines, au point de vue des appareils employés dont de nombreux exemples sont

à l'Exposition Universelle. Les méthodes d'exploitation spéciales seront aussi décrites, car elles peuvent présenter des cas intéressants et donner des solutions que bien des ingénieurs des mines pourront consulter avec fruit. Nous attirons spécialement l'attention sur les deux grandes questions qui, dans l'industrie minière, semblent à l'heure actuelle primer toutes les autres : la ventilation des mines qui est la meilleure mesure préventive contre le grisou, et le travail d'exploitation mécanique qui doit encore beaucoup se développer mais qui, néanmoins, a donné lieu à la création d'appareils intéressants et nouveaux que nous décrirons avec tous les détails nécessaires.

La cinquième partie concernant la locomotion sur voie ferrée est l'une de celles qui présente à l'Exposition un ensemble des plus complets. Comme matériel roulant des chemins de fer, sauf pour les wagons de luxe, un peu de choses nouvelles sont à signaler.

Ce sont surtout dans les détails que des perfectionnements ont été apportés. Néanmoins nous parlerons de l'application des systèmes Compound et Woolf aux locomotives dont la réalisation est toute nouvelle.

Les appareils ascessoires sont surtout ceux qui présentent le plus de nouveauté. L'application de l'électricité aux manœuvres de signaux ou autres à été cause de l'invention d'une foule d'appareils intéressants dont la connaissance peut suggérer des applications autres qu'aux chemins de fer. C'est également depuis la dernière Exposition que les freins à vide et à air comprimé ont été appliqués sur une aussi grande échelle. Nous traiterons également des différents modes de traction depuis la traction par chevaux, dont nous parlerons que pour le comparer aux autres modes, jusqu'à la traction électrique dont de nombreux essais sont venus confirmer la possibilité, mais qui est encore loin d'avoir donné tout ce que l'on en pouvait attendre.

Enfin nous nous occuperons de divers cas spéciaux représentés à l'Exposition par de nombreux exemples. Les chemins de fer funiculaires, ceux à air comprimé, à eau chaude, ceux à crémaillères et enfin les

chemins de fer hydrauliques dont un exemple fonctionne à l'Esplanade des Invalides seront donnés avec tous les détails pouvant intéresser nos lecteurs. Les chemins de fer à voie étroite, dont l'application se fait de plus en plus pour les chemins de fer d'intérêt local ou départementaux, seront traités avec tous les détails que comporte l'avenir qui paraît leur être réservé. Ils sont d'ailleurs représentés à l'Exposition par un grand nombre d'installations.

La sixième partie de l'ouvrage concernant les chaudières à vapeur et les moteurs autres que les moteurs électriques et hydrauliques, traités dans d'autres chapitres, sera l'une des plus complètes et des plus étendues par suite de l'abondance même des machines et chaudières exposées.

Dans les parties précédentes, presque tous les appareils décrits ne fonctionnent pas à l'Exposition même. Dans celle-ci, au contraire, presque tous les types qui seront étudiés auront donné des preuves tangibles, par leur marche pendant la durée de l'Exposition, et si, comme nous l'espérons, des essais sont faits sur tous les appareils, nous serons des premiers à en donner le résultat à nos lecteurs.

La partie concernant les chaudières se divisera naturellement en deux, par suite des deux principaux genres de chaudières actuellement en usage.

Les chaudières à basse pression, à grande stabilité semblent avoir eu un temps d'arrêt dans leur emploi, malgré les grands avantages qu'elles présentent.

Les chaudières à production rapide, multitubulaires et à faible stabilité par conséquent, ont en ce moment des emplois qui augmentent chaque jour. De nombreux types ont été créés, sur les mêmes principes d'ailleurs, et ne diffèrent entr'eux que par des détails qui, néanmoins, ont souvent une grande importance.

Parmi les premières chaudières qui fonctionnent à l'Exposition, nous aurons à citer les chaudières Thomas et Laurens construites et exposées par la maison Weyher et Richemond, la chaudière de la Cie de Fives-Lille, la chaudière Fontaine (de Lille), celles de Davey-Paxman, celle de

la maison belge Pétry Chaudoire et enfin un type récent de chaudière Galloway.

Les autres chaudières à production rapide sont représentées par de nombreux types dont les principaux, que nous étudierons, sont : les chaudières Belleville, de Naeyer, Roser, Lagosse, Conrad Knap, Babcok et Wilcox, Dulac, Collet, Terme et Deharbe.

Un grand nombre d'autres types de générateurs, non en feu, sont également exposés et seront l'objet d'une étude détaillée.

A côté des chaudières, beaucoup d'appareils secondaires intéressants seront aussi étudiés tels que : manomètres, indicateurs de niveau, robinets-vannes, purgeurs automatiques etc., et enfin les divers fourneaux particuliers appliqués aux chaudières, tels que les foyers à chargement automatique, etc.

Les cheminées de générateurs qui présentent des particularités, comme les cheminées en tôle par exemple, seront également l'objet d'une étude spéciale.

La partie concernant les machines à vapeur comportera nécessairement plusieurs chapitres bien distincts suivant les genres de machines considérées. La machine Corliss dont l'apparition remonte à l'Exposition de 1878, sans subir de grandes modifications, a cependant donné lieu à des perfectionnements importants dont de nombreux exemples existent à l'exposition actuelle. D'une façon générale, on peut même dire que la machine à quatre distributeurs est en ce moment l'une des plus répandues ; le plus souvent deux machines sont réunies en compound et parmi les nombreux moteurs qui actionnent les transmissions du Palais des Machines, bon nombre sont des machines dérivées de la Corliss. Nous citerons parmi celles-ci les moteurs de MM. Berger André (de Thann) qui présente certains perfectionnements remarquables, de la Société Alsacienne de constructions mécaniques, d'Escher Wyss, du Creusot, de Lecouteux et Garnier (ancien type de Corliss modifié), etc.

Les machines du genre Sulzer dont les derniers perfectionnements datent également de l'Exposition de 1878, sont représentées également

à celle-ci. MM. Sulzer frères, de Winterthur et MM. Carels, de Gand, en exposent des types que nous reproduirons.

Les machines Compound de divers systèmes sont en grand nombre également, avec tous les perfectionnements que l'on a pu y apporter et avec tous les systèmes de détente connus ou nouveaux. Les machines exposées par MM. Chaligny et Cie, de Paris, Boulet, (ancienne maison Hermann-Lachapelle), Obry Grandemange et Coulaughon de Paris, la Société de construction de Winterthur, la Société du Phénix belge, la Société de Vierzon, MM. Bietrix, de St-Etienne, la Compagnie des forges de l'Horme, de l'ancienne Société Cail.

Toutes les machines citées sont parmi celles qui actionnent les transmissions du Palais des machines. Bien d'autres machines sont exposées, dont nous citerons de nombreux exemples dans le cours de cet ouvrage.

Les machines à triple expansion qui, dès le début, semblaient exclusivement réservées pour la marine, tendent de plus en plus à s'employer en industrie, particulièrement en ce qui concerne les installations électriques. Sans discuter les avantages que paraissent avoir les machines à triple et même à quadruple expansion, sur les machines Compound, réservant à nos collaborateurs compétents de parler de la question, la grande vitesse à obtenir dans les applications électriques a été pour beaucoup dans le succès qu'ont obtenu ces machines. Presque toutes ont conservé de leur ancien emploi en marine la forme des machines pilon qui paraît d'ailleurs la plus commode.

Parmi ces types de machines, nous citerons comme machines motrices marchant dans le Palais des machines à l'Exposition, la machine Weyher et Richemond, et la machine des établissements Powell, de Rouen, qui est une machine horizontale à 4 cylindres conjugués en tenders deux à deux. La maison Farcot expose également une nouvelle machine marine dont nous parlerons dans le cours de l'ouvrage.

Outre ces machines qui peuvent être considérées comme machines à

grande vitesse, d'autres machines, généralement étrangères, de construction très intéressante, sont exposées et seront données dans cet ouvrage. Nous citerons la machine Siweet et la machine Armington, employées spécialement pour l'éclairage électrique. Les moteurs rotatifs à vapeur ont quelques types représentés à l'Exposition, surtout en ce qui concerne les turbines système Parsons. La question des turbines à vapeur remonte déjà assez loin et bien avant Parsons, un professeur de l'Ecole centrale, Thomas, dont le nom est surtout connu par la chaudière Thomas et Laurens, donnait dans son cours en 1859, le principe des turbines à vapeur, faisant prévoir les avantages que l'on pourrait en tirer. L'idée a été reprise ensuite et la turbine à vapeur nous est venue d'Amérique. Son emploi en électricité paraît logique et commode. Peut-être n'en est-il pas de même pour d'autres applications, par suite de la grande quantité de vapeur consommée. Nous donnerons également tout ce qui est relatif à ces moteurs rotatifs.

Dans cette même partie nous traiterons également la question des moteurs industriels tels que moteurs à air chaud, à air comprimé ou raréfié, à hydrocarbures, et les moteurs à gaz dont l'extension est de plus en plus considérable et qui, de l'opinion des personnes compétentes, ont un grand avenir en industrie. Les systèmes divers de moteurs à gaz seront tous décrits et ne peuvent manquer d'être l'un des chapitres les plus intéressants de notre Revue.

La septième partie comporte, sous le titre de mécanique générale, toutes les installations mécaniques faites par l'administration à l'Exposition actuelle. Nous serons à même de donner à nos lecteurs tous les renseignements concernant cette importante installation. La question des machines-outils sera également traitée dans tous ses détails, ainsi que bon nombre de questions nouvelles, surtout en ce qui concerne l'emploi relativement récent de la fraise. L'exigence de plus en plus grande de la construction mécanique a été cause des perfectionnements qu'ont subi successivement les machines-outils.

Le travail du bois présente aussi des conditions spéciales qui ont donné lieu à la création d'outils très intéressants, tant pour l'exploitation forestière que pour le travail spécial des bois en ateliers et pour des fabrications particulières, comme les crosses de fusil par exemple.

Les appareils de levage, ponts-roulants et ascenseurs sont représentés par de nombreux types à l'Exposition actuelle. Depuis 1878, peu de perfectionnements ont été apportés aux appareils déjà connus. Leur construction en a été mieux soignée et la commande de ces appareils a utilisé le transport électrique de la force pour les grues ou pour les ponts-roulants. Les ascenseurs à traction funiculaire ou hydrauliques employés à la Tour Eiffel, où des conditions spéciales imposées ont été cause de perfectionnements remarquables seront donnés dans tous leurs détails. Un nouvel ascenseur dont l'application avait été très restreinte jusqu'ici, par suite de sa nouveauté même, l'ascenseur Roux, Combaluzier et Lepage sera également étudié complètement. Parmi les appareils dont nous parlerons, nous pouvons citer déjà, les ascenseurs système Edoux, l'ascenseur américain Othis employé à la Tour Eiffel, les ascenseurs système Samain, les ascenseurs Bon et Lustremant, l'appareil électrique Chrétien, les ascenseurs Mégy, Echeverria et Bazan. Parmi les appareils de levage, les grues à vapeur ou à bras de MM. Bon et Lustremant, Caillard du Havre, la grue Guyenet, construite spécialement pour le montage de la Tour Eiffel. Enfin, nous donnerons l'installation des deux ponts-roulants de la Galerie des Machines et de divers appareils aussi nombreux que variés qui feront de cette étude l'une des plus complètes qui aient été faites sur les appareils de levage.

Viendra ensuite la question des appareils hydrauliques.

Cette importante question sera traitée avec tous les détails qu'elle comporte. Les applications de l'hydraulique, soit comme moteurs, soit comme appareils divers, a pris en ces dernières années une grande importance. Comme moteurs, peu de perfectionnements ont été apportés aux divers appareils utilisés à cet effet. Les turbines et les roues hydrau-

liques qui étaient peu représentées à l'Exposition de 1878, le sont à cette Exposition par de nombreux exemples.

La construction de ces appareils qui, jadis, était restreinte à certains ateliers spéciaux, a pris une grande extension, mais bien peu de constructeurs se sont astreints jusqu'ici à suivre les règles dictées par la théorie de ces appareils. Cela provenait de la partie relativement faible de la puissance des chûtes utilisées par les industriels pour lesquels le bon marché des appareils séduisait plus que le rendement.

Les installations hydrauliques pour l'édilité, élévations d'eau, outillages pour manutentions seront traitées dans cette partie, car de nombreuses installations de ce genre ont été faites tant en France qu'à l'étranger et présentent un intérêt de premier ordre, surtout en ce qui concerne l'alimentation des villes. Tous les appareils relatifs à ces installations, pompes, turbines, appareils accessoires de fontainerie et autres seront également donnés, ainsi que les nombreuses applications des appareils hydrauliques, comme les pompes et les presses, à tous les genres d'industries qui les emploient.

La huitième partie comprendra tout ce qui est relatif à l'électricité.

Cette science dont les rapides progrès datent de peu d'années n'a jamais eu d'applications aussi grandes que celles qui ont été réalisés à l'Exposition actuelle.

En 1878, presque rien d'intéressant ne figurait à l'Exposition. Tout ou presque tout ce qui est exposé cette année est d'invention récente et montre ainsi que l'électricité est sortie des domaines de l'empirisme dans lequel elle avait vécu jusqu'ici. L'écueil qu'offrait cette industrie était dans l'inexpérience même de ceux entre les mains desquels elle était confiée. On se faisait électricien sans études préalables. — Actuellement, il n'en est plus rien, et l'avenir de cette science est justement pour ceux qui n'appliqueront que les résultats de leurs études et de leur expérience personnelle.

Les machines électriques présentent de nombreux types que nous étudierons et parmi lesquels nous citerons les principaux : les dynamos

Edison, Gramme, Turri, Desroziers, Bréguet, Thomson-Houston, Brown, Fabius-Henrion, Clarke, Marcel Despretz, Ferranti et celles construites par la Société alsacienne. Tous ces différents genres de machines diffèrent les uns des autres par bien des points et la discussion comparative de tous ces types donnera lieu à une étude intéressante et nouvelle qui ne peut manquer d'intéresser nos lecteurs.

A cette question se rattache celle des moteurs spéciaux pour l'électricité dont il ne sera fait qu'une mention peu détaillée, presque tous ces moteurs ayant déjà été traités dans le chapitre relatif aux machines à vapeur.

La question des transformateurs, qui a été l'objet de bien des discussions sur leur emploi et leur mode de fonctionnement, sera également traitée, ainsi que celle des accumulateurs qui n'ont pas encore dit leur dernier mot et dont l'emploi est cependant indiqué dans bien des cas, ainsi que le prouve l'installation faite dans l'une des stations centrales d'éclairage de l'Exposition.

Tous les détails nouveaux relatifs aux installations électriques, depuis les systèmes d'Edison jusqu'aux récentes installations dont les plans sont exposés dans la Galerie des Machines, seront également l'objet d'une étude spéciale.

La question du transport de force, dont de récentes expériences ont démontré la possibilité et que la pratique a déjà sanctionnée, aurait pu, ce nous semble, trouver de plus nombreuses applications à l'Exposition actuelle. Nous n'avons pas à discuter ici les raisons financières ou techniques qui ont fait qu'à l'Exposition peu d'applications intéressantes aient été faites dans cette voie. Les ateliers d'Œrlikon ont installé un transport de force pour commander la transmission du palais des machines. La Société de la transmission de force (système Marcel Despretz), en a installé un exemple qui, du palais, envoie la force aux machines agricoles du quai d'Orsay. — La maison Thomson Houston a également fait un transport de force de son installation de la galerie

des machines à la galerie américaine d'appareils agricoles située sur le quai d'Orsay. La Société Edison enfin, fait un transport de force dans le palais même pour commander la transmission principale actionnant les machines à coudre et machines analogues installées au premier étage de la galerie. Enfin, les deux ponts roulants qui vont d'un bout à l'autre du Palais des Machines sont actionnés électriquement et reçoivent leur force motrice d'une station installée dans la cour des générateurs. Un certain nombre de petites installations peu importantes ont été faites pour desservir plusieurs exposants et ne présentent d'ailleurs rien de remarquable. Les nombreuses applications de l'électricité seront aussi l'objet d'une étude complète. L'une des plus intéressantes sera l'application des courants de grande intensité à la soudure autogène des métaux, exposée par la maison Thomson Houston. C'est l'une des choses les plus nouvelles exposées cette année.

Les nombreuses applications concernant la télégraphie, la téléphonie, l'électrochimie, industrie qui prend une grande extension, ainsi que la galvanoplastie, l'électrothérapie seront traitées dans ce chapitre.

La neuvième partie concerne la marine et les arts militaires. Cette partie sera traitée aussi complètement que l'exigent d'aussi importantes questions, avec cependant toutes les restrictions que l'intérêt national commande. Néanmoins les constructions navales relatives soit aux bâtiments de commerce, soit aux bâtiments de guerre, avec tous les appareils accessoires qu'ils comportent, présenteront un certain nombre de questions intéressant les spécialistes, qui trouveront ici une étude aussi complète que possible, aussi bien que tous les ingénieurs dont les travaux se rapportent plus ou moins à la marine.

Il en sera de même pour les arts militaires. Et l'on peut dire que l'une des causes qui ont le plus contribué à perfectionner la construction de nos machines-outils est l'exigence souvent minutieuse dont ont fait preuve les services techniques de la marine et de la guerre dans les réceptions d'appareils confiés à l'industrie privée. L'artillerie moderne et

tout ce qui s'y rattache, fortifications, blindages, projectiles, etc., seront également donnés à nos lecteurs.

A propos des arts militaires nous parlerons aussi dans ce chapitre de l'application des chemins de fer à la stratégie et à la mobilisation. Nous passerons en revue tous les systèmes actuels de ponts démontables dont l'utilité est surtout reconnue dans le génie militaire.

La question de l'aérostation, qui sort de la période embryonnaire qu'elle avait traversée jusqu'ici, présente des nouveautés que nous décrirons, car cette science encore jeune laisse le champ ouvert à bien des inventions qui feront peut-être un jour de la navigation aérienne, la navigation de l'avenir. Enfin ce chapitre traitera également plusieurs sujets qui se rattachent aux arts militaires où à la marine, comme le matériel de sauvetage et de pompier et les explorations sous-marines. Ces sujets renferment beaucoup de choses intéressantes surtout en ce qui concerne les nombreux appareils employés.

La dixième partie comprend tout ce qui est relatif aux arts industriels. Le sujet est vaste, mais nous ne nous embarrasserons pas d'une multitude d'appareils que la pratique a plus ou moins sanctionnées. Nous ne donnerons que les machines consacrées par l'expérience et celles, nouvelles, qui présentent des perfectionnements sérieux de l'avis des ingénieurs spécialement occupés de la question. Les arts textiles occuperont la première place dans ce chapitre, tant par leur importance en industrie et à l'Exposition actuelle que par la nécessité de donner un livre neuf sur ces questions pour la plupart peu connues des ingénieurs.

Il est à remarquer en effet que la question des arts textiles est une de celles où l'on se spécialise le plus volontiers, et peut-être est-ce justement l'une des causes pour lesquelles la construction des machines de filature et de tissage n'a pas donné en France tous les résultats que l'on serait en droit d'attendre.

La papeterie, l'imprimerie, et les arts qui s'y rattachent seront également traités dans tous leurs détails. Les machines sans présenter de

grandes nouveautés sont aussi généralement peu connues et présentent des particularités intéressantes.

A propos de la fabrication du papier nous donnerons la description de nouveaux procédés de blanchiment électrolytique qui est l'une des choses les plus récentes de cette fabrication.

La meunerie et la boulangerie seront l'objet d'études détaillées surtout en ce qui concerne les nouveaux systèmes de mouture et les divers appareils de récente invention employés dans la panification mécanique.

La question si intéressante des machines à glace, alors que leur application dans bon nombre d'industries chimiques ou alimentaires augmentent chaque jour, sera étudiée d'une façon toute spéciale, car tous les types connus de ces machines existent à l'Exposition : les machines à ammoniaque représentées par les machines Carré, Fixary, les machines à acide sulfureux, système Pictet, représentées par les machines exposées par l'inventeur et par les maisons Sulzer et de Naeyer, la machine utilisant la détente de l'air comprimé, celle plus récente du système Vincent au chlorure de méthyl, et enfin quelques appareils pour les usages domestiques.

L'industrie du gaz, sauf en ce qui concerne la fabrication des cornues, n'est représentée à l'Exposition que par les produits de cette industrie. On sent peut être là un commencement de prépondérance de l'électricité. Quoi qu'il en soit, le pavillon du gaz, exposition collective de tous les appareils utilisant le gaz, soit comme source de lumière, de chaleur ou de mouvement, renferme des applications intéressantes qui montrent tous les progrès réalisés par cette industrie et toute sa prospérité, qui est encore loin de disparaître. Les industries dérivées de celle-ci ne sont également représentées que par les produits fabriqués, couleurs, et produits chimiques divers.

Enfin nous terminerons ce chapitre par l'étude de la verrerie et de la céramique représentées surtout à l'Exposition par des produits fabriqués. Les fours employés pour ces industries présentent cependant un grand

intérêt, mais il est actuellement hors de doute que les secrets de fabrication entrent pour une large part dans la production des remarquables produits exposés au Champ de Mars. La céramique industrielle repré-présentée surtout par les deux grandes maisons Mulles (d'Ivry) et Doulton, sera l'objet d'une étude spéciale, car c'est surtout au point de vue industriel qu'à été conçu cet ouvrage.

La onzième partie est celle qui traite de tout ce qui concerne la chimie industrielle. La teinture, le blanchiment et les impressions, la fabrication des corps gras, la distillerie et la sucrerie, l'amidonnerie présentent des appareils nombreux et nouveaux dont l'intérêt est considérable, vu l'importance de ces industries. Les explosifs de plus en plus nombreux seront traités spécialement en vue de leur emploi dans les mines. La Photographie présentera aussi de nombreuses et nouvelles inventions que nous étudierons spécialement en vue des services qu'elles peuvent rendre à un certain nombre d'industries.

La fabrication du caoutchouc, de la gutta-percha et des produits analogues sera également l'une des questions intéressantes de ce chapitre.

Nous parlerons ensuite de la chimie agricole, analyses de terrains et engrais, etc., dont l'importance est notoirement reconnue.

La douzième partie traitera spécialement des questions agricoles, tant au point de vue du matériel dont l'importance va grandissant chaque jour, qu'à celui des exploitations qui sont encore actuellement l'une de nos richesses nationales.

Depuis que la nouvelle science du génie rural s'est développée en France grâce aux nombreux travaux de chimistes, d'agronomes et d'ingénieurs distingués, l'agriculture est devenue un art où les connaissances spéciales sont aussi nécessaires que dans l'industrie. Les exploitations rurales et forestières exigent un matériel mécanique dont de nombreux exemples figurent à l'Exposition, et ces questions encore peu connues, surtout en ce qui concerne les récentes découvertes et les nouvelles inventions, seront l'objet d'une étude aussi complète que possible.

Viennent ensuite une série de sujets spéciaux ne rentrant dans aucune des parties précédentes et qui seront donnés à la fin de cet ouvrage.

Tels sont l'horlogerie, la construction des appareils de précision, la serrurerie, la coutellerie ; industries spéciales présentant de l'intérêt pour tous nos lecteurs. Nous donnerons les derniers perfectionnements où les nouveautés, par exemple en horlogerie où les transmissions électriques, à air comprimé où à vide ont donné lieu à des appareils ingénieux dont l'application peut se rencontrer dans bien d'autres cas.

Nous terminons ici l'analyse de notre programme.

Toutes les questions que nous devons ainsi traiter dans cette vaste encyclopédie le seront par des spécialistes dont l'incompétence et l'impartialité bien connues sont la principale garantie de notre œuvre.

Nous nous ferons une règle, facile à suivre d'ailleurs, de n'accepter aucun article intéressé dont les appréciations pourraient être mises en doute.

Le programme de l'ouvrage indique le nom de nos éminents collaborateurs et des parties dont ils se sont chargés spécialement, Tous sont connus et justement estimés des nombreux lecteurs auxquels cette revue s'adresse. Nous comptons sur leur concours dévoué et sympathique pour mener à bonne fin la tâche que nous nous sommes imposée.

Nous profitons ici de cette occasion pour les remercier d'avoir bien voulu accepter de collaborer à cette revue technique, aussi bien en notre nom personnel qu'au nom de tous ceux qui, s'intéressant aux questions scientifiques et industrielles, trouveront dans cet ouvrage un ensemble d'études faites par des hommes éminents, sur tout ce que l'industrie et la science ont exposé dans les merveilleux palais du Champ de Mars. Puisse notre *Revue technique* prospérer comme toutes les choses qui se rattachent à l'Exposition universelle de 1889 et rester dans l'avenir le document le plus utile et le plus complet sur les questions techniques de cette époque !

CH. VIGREUX.

LES

EXPOSITIONS UNIVERSELLES

L'idée première des expositions internationales est une idée française ; en 1849, elle avait été émise dans nos assemblées délibérantes. L'Angleterre s'est empressée de la mettre à profit et l'a appliquée en 1851. Nous la lui avons reprise deux ans plus tard.

Le 8 mars et le 22 juin 1853, deux décrets impériaux ordonnaient la réalisation d'une exposition universelle pour 1855.

Cette exposition devait s'ouvrir et s'ouvrit en effet du 1er mai au 30 septembre. Afin de lui donner un logis digne d'elle, on construisit, pour la recevoir, aux Champs-Élysées, sur les dessins de M. Viel, architecte, et aux frais d'une Compagnie concessionnaire, un palais qu'on appela le *Palais de l'Industrie*. L'emplacement étant insuffisant, on dut créer sur le bord de l'eau une grande galerie reliée au palais lui-même par des jardins et par une galerie de jonction.

Aujourd'hui, notre système de classification des produits exposés en 1889, comprend 85 classes; en 1855 il était fort simple et n'en mentionnait que 27. L'emplacement réservé aux exposants était alors de 152,052 mètres carrés.

Dans cet espace prirent place 11,763 exposants français et 11,121 exposants étrangers ; le nombre des visiteurs s'éleva à 5,162,330, et le produit des entrées atteignit le chiffre de 3,202,485 francs.

L'organisation de l'Exposition universelle de 1855 avait été confiée à une commission nommée par décret du 24 décembre 1853, et placée sous la présidence du prince Napoléon. Le prince avait près de lui trois vice-présidents : MM. Troplong, Baroche et Billault.

C'est seulement en 1865 que l'Exposition universelle de 1867 fut résolue.

Deux décrets en date du 1er février et du 4 mars, instituèrent la Commission impériale qui devait être chargée de la direction et de la surveillance des opérations.

Présidée par le prince Napoléon, assisté de trois vice-présidents : M. Rouher, Ministre d'Etat ; M. Béhic, Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics ; M. le Maréchal Vaillant, Ministre de la Maison de l'Empereur et

des Beaux-Arts, et de M. Le Play, commissaire général, cette Commission fut composée de soixante membres, et se réunit pour la première fois le 7 avril.

Elle s'occupa tout d'abord de former l'association de garantie, et fixa le minimum du capital à souscrire à la somme de huit millions.

L'appel adressé aux souscripteurs donna des résultats inespérés ; le 20 juillet 1865, date fixée pour la clôture des listes, la Commission constatait un apport de 10,347,000 francs.

Ceci fait, il fallait entrer résolument dans le vif de la question. Le choix de l'emplacement fut, comme on pouvait s'y attendre, l'objet de vives et longues discussions.

Pour cette solennité, à laquelle il importait de donner un grand éclat, on parla successivement d'utiliser : le Champ de Mars ; le Palais de l'Exposition permanente d'Auteuil ; d'étendre à l'aide de constructions annexes, le Palais de l'Industrie, érigé aux Champs-Élysées pour l'Exposition de 1855 ; de s'emparer du vaste terrain des docks de Saint-Ouen ; de choisir le quartier Monceau, ou enfin de s'établir à Courbevoie, près du pont de Neuilly.

Tout bien examiné, le choix définitif de la Commission impériale se porta sur le Champ de Mars, qui semblait propre à remplir, mieux que tout autre emplacement, le programme dont on avait déjà arrêté les grandes lignes.

La surface utilisable, en chiffres ronds, était de 45 hectares ; de larges voies conduisaient sur ce point de Paris admirablement situé, et assuraient aux voitures ou aux piétons une circulation régulière et rapide. On avait compris aussi que la Seine pouvait être d'un puissant secours, spécialement au point de vue des moyens de communication qu'elle offrait, non seulement pour le transport peu coûteux des matériaux, mais encore pour celui des visiteurs ; d'autre part, la proximité d'une voie de fer permettait de se tenir en rapport constant et direct avec les grandes Compagnies.

En créant les Bateaux-Omnibus et la voie qui relie la gare de Grenelle au Chemin de fer de Ceinture, on rendait immédiatement la situation tout-à-fait exceptionnelle. Ces projets réalisés, aucun lieu ne pouvait mieux convenir à la grande manifestation nationale qui se préparait.

En effet, cette solution, la seule désirable, on l'a bien vu depuis, donna pleine satisfaction à tous les intérêts en présence, elle assura le succès de l'Exposition de 1867, la plus intéressante, la plus productive et la plus vivante qu'il nous ait été donné de voir. 52,200 exposants parmi lesquels 15,969 Français y prirent part.

Ouverte officiellement le 1er avril 1867 par l'Empereur et par l'Impératrice, accompagnés du Prince d'Orange, du Comte de Flandre, du Duc de Leuchtenberg, du Prince et de la Princesse Murat, l'Exposition ferma ses portes le 3 novembre, tout en laissant au public l'entrée dans les jardins, jusqu'au 21 du même mois. Pendant ce laps de temps, comprenant 235 jours, elle reçut par

quinze portes, en y comprenant les entrées par *abonnement*, la visite de plus de dix millions de personnes :

Le chemin de fer lui en apporta .	1,472,969
Les bateaux omnibus à vapeur. .	2,787,620
Les omnibus.	7,169,606
Les tapissières	2,328,000
Les voitures publiques.	1,486,000
Les voitures de maîtres	371,000

L'examen des comptes publiés en 1869, dans un rapport magistral, permet de constater que les recettes totales s'étant élevées à. . . . 26,114,662 09
et les dépenses à. 22,983,817 99
les opérations de la Commission impériale se soldèrent par un excédent de recettes de. 3,130,844 10

L'ouverture des chantiers du Champ de Mars avait eu lieu à la fin d'octobre 1865 ; au mois de juillet 1866, le chiffre des ouvriers employés aux travaux, avait atteint 1,477.

La surface du Palais proprement dit était, en mètres carrés, de	165,816 mètres.
Celle du Parc, de.	245,174 —
Celle du jardin, de	48,350 —
Ce qui donnait, pour le Champ de Mars seulement,	459,340 mètres.

A cette surface, heureusement insuffisante, il convient d'ajouter, si l'on veut savoir exactement quel était l'emplacement réservé à l'Exposition toute entière :

1° La surface de la berge, qui était de 8,395 mètres carrés ; — 2° Celle de l'Exposition annexe de l'île de Billancourt, qui était de 220,000 mètres carrés. Ces deux derniers chiffres, ajoutés aux précédents, donnaient à l'Exposition de 1867, une surface totale de 687,835 m. carrés.

Le jury des récompenses décerna pour cette Exposition, 64 grands prix, 833 médailles d'or, 3,650 médailles d'argent, 6,565 médailles de bronze, et 5,800 mentions honorables.

Accablée par des revers sans exemple dans notre histoire, la France, dès 1876 reprenait possession d'elle-même ; elle poursuivait, non sans succès, avec le calme d'une nation injustement frappée, l'œuvre de sa réorganisation administrative, politique et militaire. La confiance en elle-même semblait lui être revenue, elle avait foi dans les institutions qu'elle s'était librement données.

Résolue à suivre avec persévérance les idées de sagesse patriotique proclamées par ses mandataires, voulant par-dessus toute chose montrer au monde qu'elle désirait sincèrement la paix, et qu'elle était uniquement préoccupée de son maintien, elle eut alors la pensée généreuse de convier le monde entier à une nouvelle Exposition universelle. Cet appel à l'activité humaine, à la science contemporaine fut entendu ; les artistes, les agriculteurs, les industriels, se mirent résolument à l'œuvre.

On sait aujourd'hui quels ont été les résultats de cette gigantesque entreprise,

Le 4 et le 13 avril 1876 parurent les deux premiers décrets instituant l'Exposition de 1878.

Cette fois encore, comme en 1867, le Champ de Mars fut considéré comme le point le plus central et le plus facilement accessible pour ces nouvelles assises du travail ; on y adjoignit le Trocadéro, qui dût être transformé pour cette mémorable circonstance.

Le plan, parfaitement étudié, et qui réunit tous les suffrages, consistait, pour le Champ de Mars, en une vaste surface de 240,000 mètres carrés, flanquée de dômes aux quatre angles ; le pont d'Iéna, sensiblement élargi, mettait en communication directe l'Exposition proprement dite et le palais du Trocadéro, dont l'édification avait été primitivement évaluée à cinq millions de francs, et qui en absorba neuf ; les quais eux-mêmes, englobés dans l'enceinte, étaient laissés en communication avec la ville par deux tranchées : l'une de vingt mètres de largeur, sur la rive droite, et l'autre de cinq mètres sur la rive gauche.

C'est à la Commission supérieure des Expositions internationales, constituée en 1870, à l'occasion de l'ouverture de l'Exposition de Londres, que fut confiée l'exécution des travaux et l'examen de toutes les questions se rattachant à l'organisation.

M. J.-B. Krantz, sénateur, fut chargé des fonctions de commissaire-général.

Le temps pressait, on avait devant soi dix-huit mois seulement. Ce qu'il fallut alors dépenser d'activité, montrer de décision, de dévouement et de zèle, nu ne le sait aujourd'hui, si ce ne sont pourtant ceux qui viennent encore une fois, par leurs persévérants efforts, de renouveler cette tentative, et de créer de toutes pièces une nouvelle Exposition, qui ne le cède en rien à ses devancières.

Dans l'Exposition de 1878, le palais du Trocadéro, dont l'exécution avait été confiée à Davioud et Bourdais, joua un rôle utile et sérieux. La salle des fêtes u'il renfermait, pouvant contenir de six à huit mille personnes, trouva de précieuses applications ; les deux vastes galeries qui l'enveloppent et complètent sa décoration extérieure, rendirent des services qui n'ont pas été oubliés. L'*Histoire du Travail*, où se trouvaient groupées les collections particulières les plus remarquables, avait trouvé là un asile admirablement disposé pour la recevoir.

Merveilleusement situé, le palais, dans son ensemble, dominait l'Exposition

entière ; on avait là, comme on l'a encore en 1889, un panorama unique au monde.

L'Exposition s'ouvrit le 1er Mai 1878, en présence du Maréchal de Mac-Mahon Président de la République. Le pays n'a pas oublié cette solennité véritablement nationale, apportant au monde entier la certitude qu'il avait repris enfin, parmi les nations les plus grandes, la place à laquelle il n'avait cessé d'avoir droit.

L'Exposition de 1867 comprenait 52,200 exposants ; celle de 1878 en reçut 52,835 ; la France seule en avait fourni 25,872. Elle donnait ainsi, une fois de plus, la preuve de sa prodigieuse énergie et de sa singulière vitalité.

Nous pouvons bien dire aujourd'hui, que nos voisins furent attérés du relèvement si complet et si prompt d'un peuple qu'ils croyaient avoir à tout jamais accablé.

Fermée le 10 novembre 1878, l'Exposition universelle avait duré 194 jours. Pendant cette période, elle avait reçu plus de 14 millions de visiteurs.

Le chemin de fer lui en avait amené . . .	961,947
Les bateaux à vapeur.	3,416,360
Les omnibus et les tramways	7,693,563

Les statistiques n'ont pas relevé le nombre de ceux qui sont venus pédestrement ou par des voitures particulières.

La commission des finances avait établi comme il suit le budget de l'Exposition :

DÉPENSES

Construction	23,228,000	»
Parcs et cascades	3,265,000	»
Moteurs.	1,500,000	»
Tranchées	500,000	»
Eau et gaz.	950,000	»
Beaux-arts	100,000	»
Matériaux	300,000	»
Clôtures.	370,000	»
Administration	1,800,000	»
Remise en état du Champ de Mars.	300,000	»
Médailles.	1,500,000	»
Fêtes	500,000	»
Imprévu	1,000,000	»
Total . . .	35,313,000	»

RECETTES

Entrées	14,000,000	»
Locations et recettes diverses . .	1,235,000	»
Revente de matériaux.	4,000,000	»
	19,235,000	»

Pour les produits exposés, ils étaient répartis en neuf groupes, 1° œuvres d'art ; 2° éducation, enseignement, matériel et procédés des arts libéraux ; 3° mobilier et accessoires; 4° tissus vêtements et accessoires; 5° industries extractives ; 6° outillages et procédés d'industries mécaniques ; 7° produits alimentaires ; 8° agriculture ; 9° horticulture. Le jury rendit hommage aux progrès accomplis, que M. Jules Simon résuma magistralement dans le gros volume de son Rapport général ou introduction aux Rapports des jurys.

Les exposants étaient au nombre de 53,000.

Moins heureuse que l'Exposition de 1867, celle de 1878, quel qu'ait été d'ailleurs son extraordinaire succès, a laissé derrière elle un déficit peu considérable, et dont il est permis de ne pas tenir compte dans une opération aussi colossale et d'une réalisation aussi difficile et aussi rapide. Il est bon de faire remarquer, à ce sujet, que lors de sa disparition, Paris a bénéficié, non seulement du palais du Trocadéro, qu'il ne possédait pas primitivement, mais encore d'une promenade admirable, autour de laquelle sont venus se masser nombre d'habitations luxueuses, qui ont transformé cette partie de la ville et l'ont rendue attrayante.

L'Exposition de 1878 occupait, en y comprenant toutes les annexes 750,000 mètres carrés.

Il nous faut être sages, nous sommes en 1889 et nous avons cent ans.

En 1871, le vieux chêne gaulois, ébranlé par la foudre, a vu se détacher l'une de ses branches mères ; l'arbre, Dieu merci ! a encore de la sève et la branche repoussera. Le sol est bon.

Ne nous laissons pas distraire ; travaillons, nous n'avons pas fini notre tâche ! Célébrons le centenaire de la grande révolution qui a mis la France aux mains des français. L'occasion nous est offerte de montrer une fois encore, ce que nous pouvons faire. Montrons-le hardiment et regardons l'avenir en face, il est à nous !

Le succès de l'Exposition universelle est assuré. Le Ministre du commerce de l'industrie s'en est réservé le Commissariat général. Les Le Play et les Krantz ont laissé de dignes successeurs :

M. Alphand a la direction générale des travaux.

M. Georges Berger a la direction générale de l'exploitation :

M. Grison a la direction générale des finances.

Ces directeurs, dont les attributions ont été fixées par le décret du 28 juillet 1886, se sont consacrés à l'œuvre nationale, dont la réalisation leur vaudra la reconnaissance du pays.

Les origines de l'Exposition de 1889 sont inconnues. Qui, le premier en a conçu la pensée ? On l'ignore. Le projet était dans l'air. Au mois de mai 1883, le *Petit Journal* en parlait ; un mois après plusieurs autres journeaux publiaient une note ainsi conçue :

« MM. Hervé-Mangon, Liouville, Million, etc., ont eu un entretien avec

» M. Hérisson, Ministre du Commerce, à propos d'un projet relatif à l'instal-
» lation d'une Exposition nationale qui serait ouverte à Paris, en 1885. Le
» Ministre du Commerce s'est déclaré partisan de ce projet ».

L'idée fit son chemin et le 8 novembre 1884. M. Maurice Rouvier étant Ministre du Commerce, M. Jules Grévy, Président de la République, rendait un décret instituant, non pas une Exposition nationale, mais bien une Exposition universelle devant s'ouvrir le 5 mai 1889 et prendre fin au 31 octobre de la même année. Une question se posait. Où aurait lieu l'Exposition? Un très grand nombre de propositions étaient faites. Choisirait-on Vincennes ou Levallois ? Le projet de Courbevoie, offrait de très sérieux avantages, mais sous la réserve expresse que le chemin de fer métropolitain serait exécuté. Après de graves discussions, il fut décidé par l'arrêté d'août 1886, que l'Exposition aurait son siège principalement au Champ de Mars, mais qu'elle pourrait s'étendre sur les deux rives de la Seine et comprendre l'Esplanade des Invalides, le Palais de l'Industrie et le Trocadéro.

« La superficie des palais, dit M. Tesserenc de Bort dans son rapport, est évaluée à 288,000 mètres carrés. » En 1855, il ne s'agissait que de 117,000 mètres. En 1867, on atteignait 163,000 mètres. En 1878, on touchait à 280,130 mètres. En 1889, suivant l'estimation de M. l'Ingénieur H. de Baecker, l'enceinte embrasse 84 hectares, sur lesquels 29 sont bâtis et couverts.

En ce qui concerne les constructions et l'aménagement, cent sept projets furent présentés. Il s'en rencontra dix-huit assez remarquables pour être classés, par la commission nommée pour le concours, et soumis à un second examen, à la suite duquel les douze premiers, désignés au scrutin secret, reçurent des primes déterminées par l'arrêté ministériel.

MM. Dutert, G. Eiffel et Formigé se virent attribuer la prime de 4,000 francs Celles de 3,000 furent attribuées à MM. Cassien, Bernard et Francis Nachon, à M. Deperthes et à M. Raulin. En troisième lieu venaient MM. Ballu, Fouquiau, Hochereau et Girault, Poulin, Pierron et Vaudoyer, lauréats des primes de 2,000 francs. Enfin, des mentions honorables étaient décernées à MM. Blondel, Claris et Morel, Gaston Hénard, François Roux, Smil, Walwein et Bertsch Proust.

Le 12 juin 1886, paraissait au *Journal officiel*, la nomination d'une commission consultative, qui devait étudier le projet de tour en fer présenté par M. Eiffel, ingénieur-constructeur. On entrait dans la période d'exécution.

Si on pénétrait plus intimement dans l'organisation des services de l'Exposition universelle, on constaterait que les évaluations des recettes se divisent de la manière suivante :

Produit des entrées.	14,500,000 fr.
Produit des concessions, locations et recettes diverses.	1,000,000
Produit de la revente des bâtiments et matériaux.	2,500,000
Total des produits . . .	18,000,000

Ces évaluations sont très modérées; elles ne dépassent que de 514,803 fr. 45 cent. les recettes de même nature recouvrées par le Trésor pour l'Exposition de 1878, et dont le total est de 17,485,196 fr. 55 centimes.

Subvention de la ville de Paris	8,000,000 fr.
Part contributive de l'Etat	17,000,000
Total général	43,000,000

Les prévisions de dépense se résument ainsi qu'il suit :

Administration	3,350,000
Travaux	29,550,000
Exploitation	5,000,000
Réserve spéciale pour les travaux de l'Esplanade des Invalides, les appontements du quai d'Orsay, et la reproduction de constructions historiques.	2,000,000
Réserve générale	3,000,000
Total général	43,000,000

Le crédit affecté à la direction des travaux semble considérable, mais, il faut se représenter que le Palais des Beaux-Arts et le Palais des Arts Libéraux, dont M. Formigé est l'architecte, doivent coûter tous deux six millions trois cent mille francs.

Il faut remarquer encore que la galerie des machines, œuvre admirable et qui comptera à MM. Dutert et Contamin, pour l'une des conceptions les plus hardies, les plus grandes et les plus belles, absorbe, à elle seule, six millions cent mille francs.

Ajoutez à ces deux chiffres, cinq millions neuf cent mille francs pour le dôme central et pour les galeries des industries diverses, dont l'exécution est réservée à M. Bouvard et vous reconnaîtrez sans peine, si vous voyez les résultats obtenus, que toutes les constructions ont été faites avec la plus rigoureuse économie. L'architecture de notre époque a apporté aux installations intérieures le secours d'un air aimable bien approprié au but qu'il convenait d'atteindre. C'est à M. Paul Sédille que cette mission séduisante a été confiée.

Vu du Palais du Trocadéro, le spectacle est grandiose. Vu de la tour Eiffel, il est féerique. Jamais Exposition n'a été plus remuante et plus gaie : la science française a accompli pour elle, de véritables prodiges. L'électricité, répandant partout la lumière à profusion, donne à cette ville nouvelle la physionomie d'un immense palais diamanté, dont la France, avec la courtoisie qui lui est habituelle fait l'honneur au monde entier.

E. Maindron.

Administration de l'Exposition Universelle.

COMMISSARIAT GÉNÉRAL.

M. TIRARD, Sénateur, Président du Conseil, Ministre de l'Industrie et du Commerce, commissaire général.

J. ROUCHÉ, chef du commissariat.

Direction générale des travaux.

MM. ALPHAND, directeur général des travaux.

CH. GARNIER, membre de l'Institut, architecte-conseil.

CONTAMIN, ingénieur en chef.

DUTERT, (Galerie des machines).
BOUVARD, (sections industrielles françaises et étrangères et du Dôme Central).
FORMIGÉ, (Beaux-Arts et Arts libéraux).
} Architectes.

BECHMANN, ingénieur en chef du service des eaux.

LAFORCADE, jardinier en chef.

DE MALLEVOUE, secrétaire général de la direction.

DÉLIONS, secrétaire chef du service technique.

Direction générale de l'Exploitation.

MM. GEORGES BERGER, directeur général de l'exploitation.

THURNEYSSEN, secrétaire de la direction.

VIGREUX, chef du service mécanique et électrique.

SÉDILLE, chef du service des installations.

MAURICE MONTHIERS, chef du service de la section française.

DE LACRETELLE.
MARC MILLAS.
} Secrétaires des sections étrangères.

BUFFETAUD, chef de la manutention.

MAINDRON, chef du catalogue.

Direction des finances.

MM. GRISON, directeur général.

SAVOYE, chef du secrétariat.

CHASTENET, chef du Contentieux.

Commissariat spécial des Beaux-Arts.

M. ANTONIN PROUST, député, commissaire spécial.

Service médical.

Docteur MOIZARD, chef du service.

PREMIÈRE PARTIE

L'ARCHITECTURE. — LES ARTS DU BATIMENT

ARTS DÉCORATIFS. — HYGIÈNE

CHAUFFAGE ET VENTILATION. — MAISONS OUVRIÈRES

ASSAINISSEMENT DES VILLES

PREMIÈRE PARTIE

L'ARCHITECTURE

L'ARCHITECTURE A L'EXPOSITION *

Notre Exposition universelle, si intéressante qu'elle soit par les merveilles industrielles et commerciales que nous y trouvons, est aussi remarquable par les œuvres artistiques qui y sont accumulées.

L'Art, qui y est peut-être le plus complètement représenté, est l'Architecture. Nous possédons en effet, au Champ de Mars et à l'Esplanade des Invalides, une variété de constructions de tous styles; depuis les habitations primitives de l'homme jusqu'à nos grands Palais modernes.

Cet ensemble nous donne un aperçu de l'évolution de l'art architectural depuis ses origines.

Nous allons examiner quelques-uns de ces types différents, en suivant un ordre chronologique; puis, après quelques considérations générales sur l'architecture, nous envisagerons au point de vue esthétique la prédominance croissante du fer dans la construction, et tout le parti que l'art moderne peut tirer de son emploi; nous prendrons comme exemple les Palais du Champ de Mars.

L'Histoire de l'Habitation de M. Charles Garnier, cette collection amusante nous montre les origines de l'architecture. Cette série des habitations humaines commence par l'antre d'un Troglodyte, sombre caverne creusée par la nature, dans le flanc d'un rocher, assez semblable aux constructions souterraines si fréquentes en Egypte, en Nubie et dans l'Inde. A côté, les constructions de l'âge de

* *L'Architecture à l'Exposition*. Tel est le sujet d'une des Conférences visites organisées à l'Exposition Universelle, par la Société Centrale du Travail professionnel. Nous la reproduisons ici d'après les notes que le conférencier M. Ch. Labro, a bien voulu nous communiquer.

la pierre éclatée, de la pierre polie, du renne, puis les cités lacustres représentant l'âge du bronze et l'époque du fer. Ces cités lacustres sont la reconstitution des habitations primitives que les hommes bâtissaient au-dessus des eaux afin de s'abriter contre les attaques des bêtes féroces et de se garantir contre les inondations.

Le sentiment de la construction commence à poindre dans la hutte en branches d'arbre de l'époque du renne. L'Architecture est donc pour ainsi dire née avec l'homme. Des trois types primitifs : grotte, tente et cabane. La tente était plus particulière à la vie pastorale, les grottes et cavernes aux chasseurs, et la cabane abrita les premiers peuples agriculteurs.

Ces trois types paraissent chacun avoir été l'origine d'un genre bien défini en architecture.

La grotte peut rappeler par ses proportions massives les premiers monuments Egyptiens.

La tente a pu engendrer l'architecture des Chinois et des Japonais aux constructions de formes capricieuses, recourbées et terminées en pointes.

La cabane offre enfin tous les éléments de l'architecture grecque.

En fait, il y a eu autant d'arts de bâtir que de peuples. Ces types primitifs ayant subi de bonne heure de nombreuses altérations par suite d'influences diverses ; civilisation, climat, matériaux employés, sentiment du constructeur.

Parmi les monuments les plus anciens nous citerons les monuments Pélasgiques et Celtiques représentés ici par les *menhirs*, énormes pierres isolées, les *dolmens* composés de trois pierres formant table, destinés aux sacrifices divins, enfin, les *cromlechs*, pierres verticales disposées sur plan circulaire ou elliptique.

Les monuments Pélasgiques se retrouvent surtout en Grèce, Italie et Asie, les Celtiques en France, Suède, Norwège, Inde.

Puis nous arrivons à une construction aux peintures multicolores, à la toiture en terrasse soutenue par d'élégantes colonnettes, c'est le type d'une habitation Egyptienne, pays où est plus particulièrement marquée l'origine des arts dans l'antiquité. De là l'architecture se répandit dans le reste de l'Orient en se modifiant suivant le génie particulier et les mœurs de chaque race, suivant le climat et les productions de chaque contrée.

Ensuite l'habitation d'Assyrie, pays où l'architecture enfanta vite des merveilles, l'histoire nous parle encore des fameux monuments de Ninive et de Babylone.

La demeure des Phéniciens qui vient après est un nouvel exemple d'architecture polychrome. Le balcon surmonté de trois arcades et la terrasse forment un ensemble assez élevé attenant à une tour carrée élégamment décorée.

L'architecture hébraïque est représentée par un spécimen de l'époque des Pharaon, elle n'a jamais acquis un développement véritablement artistique, les temples et palais de David et de Salomon dont parle la Bible ne sont pas d'architecture purement hébraïque et sont dus à des artistes étrangers, généralement des Phéniciens. Vers l'époque des Hérode elle subit l'influence grecque.

Les deux constructions des Pelasges et des Etrusques terminent cette première série d'habitations.

Vient ensuite le palais Indou d'une hauteur de 18 mètres placé sur un soubassement élevé et formé de deux tours à trois étages se joignant presque et n'offrant qu'une construction centrale très amoindrie, à laquelle on accède par un escalier, le tout décoré dans le style si caractéristique des pagodes de Cachemire et de Lahore.

A côté, une habitation persane, restauration de l'époque de Darius, bâtie avec des briques émaillées et d'une tonalité harmonieuse. Pour la première fois nous voyons la voûte apparaître, et la ligne courbe s'unir à la plate-bande.

Les habitations Germaines et Gauloises sont représentées par des huttes et des grottes primitives comme les peuples qu'elles abritaient, elles sont recouvertes soit en chaume, pierres ou troncs d'arbres.

Puis une habitation grecque donnant une des notes de cet art hellénique dont la prépondérance a été telle dans toute l'Europe, qu'on l'y retrouve un peu partout.

Dès l'origine de l'architecture grecque, l'influence égyptienne se fit nécessairement sentir, l'ordre dorique ne rappelle-t-il pas en effet par ses proportions courtes et massives certains monuments égyptiens. Une innovation des Grecs fut le fronton triangulaire que nécessitait la toiture à deux rampants.

L'art grec en général et l'art architectural en particulier fut supérieur à celui de tous les autres peuples de l'antiquité. C'est au siècle de Périclès qu'il atteignit son apogée, sa décadence commença avec l'ordre Corinthien, elle se continua après la conquête de la Grèce par les Romains dont le goût pour la richesse et l'ornementation amena à l'ordre composite.

Après la translation du siège de l'empire à Byzance, l'architecture romaine en contact avec les Grecs, la Perse et l'Orient, subit des modifications considérables. L'art romain devint byzantin, l'architecture à plates-bandes disparut en partie pour faire place au système voûté.

En Occident, l'architecture resta d'abord fidèle au type romain dégénéré et forma le style latin ou roman, d'Italie ce style passa en France. L'influence des architectures néo-grecque et byzantine donna l'architecture romaine byzantine dont on retrouve des spécimens dans le midi de la France.

C'est vers cette époque qu'était réservé aux architectes du nord de la France de faire subir à l'architecture une transformation radicale. L'inspiration chrétienne fit apparaître un genre nouveau absolument affranchi des traditions de l'antique.

La caractérisque de la nouvelle architecture religieuse s'écarta du style grec. L'aspect lourd du temple aux colonnes massives, à l'entablement plat, aux murailles pleines fut remplacé par un style élégant, les baies furent élargies, des points d'appui extérieurs accusèrent les retombées des voûtes, les piliers et colonnes furent élancées, les rampants des toits plus inclinés, la décoration fraîche, enfin l'ensemble de l'édifice s'harmonisa complètement avec notre climat.

Avec ses tours et ses flèches, le monument nouveau s'éleva dans les airs semblant transmettre au ciel les aspirations des fidèles.

Ce style caractérisé par l'emploi de l'ogive et improprement appelé gothique, naquit dans l'Ile-de-France au XIIe siècle. Notre-Dame de Paris en est un bel exemple.

Il passa en Espagne où les Arabes lui firent subir quelques modications.

L'architecture arabe se distingue par sa légèreté, la hardiesse des proportions, la délicatesse et la profusion d'ornements, l'absence de symétrie, l'arc outre passé, etc.

Au moment où l'architecture ogivale était dans son épanouissement en France, en deça des Alpes une révolution profonde s'accomplissait, la passion de l'antique gagnait les artistes italiens qui déployèrent une grande imagination dans la combinaison des divers ordres, ils varièrent à l'infini les détails de l'ornementation.

La France adopta avec empressement le style de la Renaissance italienne dont la copie exacte avait moins raison d'être sous notre climat.

Bientôt les vraies traditions de l'antique furent oubliées et il se produisit dans l'art monumental les plus étranges aberrations que l'on constate encore aujourd'hui. L'architecture contemporaine en effet non contente de copier tous les styles, tous les ordres, les combina, les amalgama le plus souvent sans discernement et sans goût. Nous assistions ainsi péniblement à la décadence de l'art architectural.

L'on se demandait pourquoi l'architecture de notre siècle où les autres modes d'art donnèrent des chefs d'œuvre en s'affranchissant de tous préjugés l'on se demandait, dis-je, pourquoi l'architecture restait en retard, ne prenait pas un caractère original conforme aux tendances, aux mœurs, aux besoins et au génie de notre époque.

Cette nouvelle Forme d'art tant attendue, déjà quelque peu pressentie à l'Exposition de 1878, se trouve enfin complètement affirmée dans les Palais du Champs de Mars.

Nous allons essayer de montrer par des considérations esthétiques que ce nouveau style, qui s'imposait à notre siècle, a une valeur tout aussi artistique que celle des styles passés.

L'architecture est un des modes de manifestation de l'Art. L'Art est une création libre de l'Intellect, exprimant une idée générale par des formes obtenues à l'aide d'éléments divers ; pierre, fer, couleur, etc.., différant suivant les modes d'art.

En architecture, ces formes sont empruntées presque uniquement à la nature inorganique et sont plus spécialement soumises aux lois de la mécanique et de la géométrie. Aussi une œuvre architecturale offrira-t-elle toujours un emblême plus énigmatique et représentera plus vaguement la pensée qu'une œuvre sculpturale, picturale ou littéraire.

La contemplation d'une œuvre d'art, produit en nous une impression toute

spéciale : l'impression du Beau, sorte de jouissance intellectuelle, calme et pure qui nous porte à considérer plus longuement l'objet qui nous charme et qui frappe nos sens, en un mot l'Art est l'expression du Beau. L'Art étant aussi l'expression d'une Idée par une Forme, il s'ensuit qu'à la conception de la Beauté se rattache ces deux attributs :

l'Idée et la Forme.

Nous distinguons de suite dans la Forme :

Sa raison, sa nature et l'habitude que nous avons de la considérer ; suivant la prédominance plus ou moins marquée d'un de ces attributs dans l'ensemble, nous obtiendrons des manifestations architecturales de styles différents. Considérons à ce dernier point de vue et très succinctement l'évolution architecturale dans les temps passés.

L'architecture ancienne d'Orient exprime une idée en se préoccupant assez peu de la raison et de l'utilité de la forme, la conception de ses monuments religieux aux colossales images est l'expression d'une pensée qui elle-même est assez vague C'est la caractéristique de cette architecture dite symbolique.

Chez les Grecs les dieux immortels, quoique étrangers aux viscissitudes de la vie humaine, ne sont plus des abstractions vagues et des existences purement idéales, l'idée est mieux définie ; aussi leur architecture est-elle plus rationnelle. Le Beau s'y combine à l'utile de la manière la plus parfaite. La colonne grecque procède d'une forme empruntée à la nature façonnée dans le sens de l'Art

L'architecture romantique est l'expression de l'Idée chrétienne. Ici c'est la nature humaine idéalisée, dont les deux caractères : profondeur de recueillement et élévation de l'âme vers l'infini expliquent les formes principales du style gothique.

Ces trois premiers genres :

Architecture Symbolique (Orient),

Architecture Classique (Grecs),

Architecture Romantique (temps modernes),

Si bien définis et si différents, ont remplis les siècles passés, ils sont tous trois inspirés par l'Idée religieuse, les styles variant suivant les religions.

L'humanité a donc vécu surtout dans la période de l'Art religieux, c'est Dieu qui jusqu'ici a rempli de son nom tous les temps.

Dans la période qui vient, l'humanité tend à s'occuper de l'être vivant et pensant, abstraction faite de toute conception théosophique.

Cette nouvelle Idée plus précise, moins énigmatique, plus conforme aux besoins de notre époque, implique nécessairement un nouveau style architectural plus rationnel que les précédents.

D'autre part, de nouveaux matériaux répondant à des exigences nouvelles sont créés chaque jour par l'industrie moderne, leur utilité finit par en imposer l'usage.

Notre siècle qui chercha à réaliser les conditions du bien-être, qui éprouva le besoin de vivre au grand air, à la lumière, qui voulut faire grand, unir le Beau à l'Utile, s'adressa au Fer qui parmi les matériaux actuels réunissait seul les conditions multiples de force, d'élégance et de souplesse.

Mais avant de l'employer franchement, de tendre au grand art moderne ; que d'hésitations de la part des architectes empêtrés dans les formules classiques et les réminiscences de l'antique, sorte de miroir dans lequel les modernes paraissent déformés et sans proportions.

Le désidératum d'un véritable artiste sans préjugés, sans parti pris et que l'influence suggestive de telle ou telle école d'art n'aurait pas trop hypnotisé, serait de pouvoir mettre de côté cette vision acquise par l'étude trop absolue des modèles classiques ; en un mot de ne pas suivre la voie de la plupart de nos architectes officiels qui entourés des traditions artistiques du passé, faussent par les formules monotones du grec ou du romain des conceptions personnelles qui auraient peut-être pu devenir originales. Ils enserrent ainsi l'art architectural dans des limites étroites caractérisant une époque et des mœurs qui ne sont plus les nôtres.

Notre siècle tant assoiffé de liberté et de réformes sociales devrait penser un peu aux réformes intellectuelles.

Pour vaincre toutes ces hésitations et cet ensemble tyrannique d'idées préconçues la Nécessité, cette force aveugle, vint en aide, il fallut avoir à résoudre des questions aussi multiples et aussi complexes qu'imposait la construction de l'Exposition Universelle de 1889, pour accuser l'emploi du fer en architecture et affirmer l'Art nouveau.

Le caractère qui détermine la physionomie générale de notre Exposition est cette formidable poussée de fer quigrandit d'abord à 300 mètres, puis s'allonge ensuite en une enjambée de 115 mètres pour se continuer d'une façon plus calme par les Palais des Arts.

Ce déluge de métal affirmant une idée nouvelle n'a pas été sans paraître indigeste à quelques esprits de valeur qui ne sont, nous en sommes certains, ni routiniers, ni timorés, ni irréfléchis et dont l'état de malaise a provoqué, dès le début de ces gigantesques travaux et contre leur achèvement, une protestation ne manquant pas d'originalité.

La valeur du fer au point de vue de l'effet se manifeste simplement dans la tour Eiffel et surtout dans la Galerie des Machines par une franchise de lignes touchant encore à la rudesse. L'ossature bien apparente de ces deux édifices affirme partout leur stabilité. Ces qualités primordiales, si recherchées des Grecs à elles seules produisent déjà une impression d'art.

Cette sécheresse de lignes que donne le fer peut s'adoucir, la beauté des corps ne venant pas de leur nature, mais bien de l'élément formel ; il ne s'agissait donc que d'assouplir et disposer le métal suivant des formes convenables.

L'artiste souvent incapable d'obtenir ce résultat s'en prit à la matière qu'il employait : Le fer, ce vil métal ;

« Ce pelé, ce galeux, de qui vient tout le mal »

préférant ce dénigrement peu sincère à l'aveu de son impuissance, ne sentant pas que l'œuvre architecturale, cette expression du Beau, est indépendante des matériaux dont on se sert :

« Il n'est point de serpent ni de monstre odieux »
« Qui par l'art imité ne puisse plaire aux yeux ».

La décoration des ossatures métalliques peut s'obtenir par des motifs également en fer : fers profilés ou fers forgés.

Actuellement ce choix est peu varié, le métal ne recevant guère que des profils nécessaires aux constructions industrielles sans sérieuses prétentions artistiques, mais entre ces formes mathématiques et le dessin que la forge permet d'obtenir il y a la différence du moellon grossier à la pierre élégamment moulurée.

Une solution élégante de la question, serait de produire des machines capables de remplacer le travail de la forge à la main et de réaliser économiquement les formes tracées par l'artiste, si l'on joint à cela l'emploi judicieux des motifs colorés dont on dispose : céramiques, faïences, terres cuites, briques teintées, tuiles vernissées etc., on aura une œuvre dont l'harmonie des tons concourra à la vie et à la chaleur de l'ensemble, effets que la pierre seule ne peut produire.

D'ailleurs, logiquement, on ne saurait retrouver dans la forme d'art du fer les mêmes dispositions que dans la construction en pierre. Comparer ces deux formes c'est commettre une véritable hérésie.

Pourtant certaines opinions semblent préférer une médiocre église gothique à la Galerie des Machines, ce temple moderne élevé aux divinités du siècle « la Vapeur, l'Électricité». Cette assertion est aussi absurde que serait celle qui prétendrait une belle poésie supérieure à une belle prose. Ce sont deux beautés différentes ne s'excluant pas et n'ayant aucun point de commun.

En résumé parmi les constructions de l'Exposition qui semblent réunis le plus complètement les conditons nécessaires à toute œuvre d'art, nous citerons les Palais des Arts : Goût, élégance, solidité, oppositions heureuses d'ombre et de lumière, tonalités et colorations du plus gracieux effet ; toutes ces qualités y sont ménagées à profusion et concourent à donner à l'ensemble un aspect monumental harmonieux.

Malgré cela nous croyons pouvoir affirmer que l'Art du fer n'a pas encore donné tous les résultats qu'il est permis d'en attendre ; mais la France indique nettement la voie à suivre pour entrer dans une ère architecturale nouvelle dont les origines caractériseront notre siècle.

Ch. Labro
Ingénieur des Arts et Manufactures.

PALAIS DES MACHINES

Architecte : M. DUTERT. — Ingénieur : M. CONTAMIN.

Historique et ensemble du Palais.

Le Palais des Machines, érigé au Champ-de-Mars, tout près de l'Ecole Militaire, est la plus grande construction métallique de l'Exposition Universelle de 1889. C'est en effet le Palais qui a exigé le plus de métal et qui par ses dimensions exceptionnelles, portée et hauteur, présente la plus grande somme de documents techniques intéressant à la fois les architectes, les ingénieurs et les constructeurs.

La conception de ce Palais est due à M. Dutert, architecte qui a été l'un des trois lauréats du grand concours de l'Exposition, et la réalisation au point de vue de sa stabilité est le travail de M. Contamin, ingénieur en chef..

Nous rappelons brièvement les phases par lesquelles a passé le projet de M. Dutert.

D'après le programme général de l'Exposition, projetée pour 1889, les machines devaient être réunies dans un même espace. La surface du Champ de Mars étant donnée, il fallait prendre de cette surface une étendue suffisante pour loger les machines. Les données exactes manquaient à cet égard et l'on ne pouvait que consulter ce qui avait été fait aux expositions antérieures. Or ces expositions établissaient l'importance croissance des applications de la mécanique aux arts et à l'industrie. Pour notre première Exposition universelle, qui se fit à Paris en 1855, on construisit le Palais de l'Industrie aux Champs-Élysées, mais le matériel et les Arts mécaniques furent placés dans des annexes en dehors du palais principal.

En 1867, le palais principal était elliptique, présentant des galeries de même forme. L'exposition des machines était périphérique et enveloppait les autres expositions.

En 1878, le plan du palais principal était un rectangle d'une étendue de $650^{m} \times 340^{m}$. Les machines occupaient les deux côtés longs de ce rectangle et prenaient deux bandes de chacune 650 mètres de longueur sur 37 mètres de largeur, cette largeur étant la portée des fermes des galeries des machines.

Pour 1889, il fallait faire un grand Palais unique de Machines, ne présentant aucun appui intermédiaire et qui fût différent des précédents. M. Dutert adopta

Les renseignements de cet article ont été fournis par M. Hénard, inspecteur du service de M. Dutert.
N. D. L. R.

une grande portée, ce qui le conduisit à une grande hauteur, et il plaça la plus grande dimension de 400 mètres suivant la largeur même du Champ-de-Mars.

Dès 1886, M. Dutert présenta son premier projet qui comportait une grande nef métallique de 400 mètres de long sur 115 mètres de large, entourée sur les quatre côtés de galeries périphériques à deux étages.

La partie principale ou grande nef était voûtée en arc de cloître, barlongue, se terminant par deux croupes.

Le projet de M. Dutert fut soumis à l'approbation de la Sous-Commission du Contrôle et des Finances et aussi à l'avis de constructeurs compétents. Les opinions furent très partagées, et tout en admettant la portée exceptionnelle de 115 mètres, des objections furent faites concernant la forme même de l'arc de cloître proposée par l'architecte.

Il y eut aussi des hésitations formulées se rapportant à la difficulté de se rendre compte des efforts qu'une telle construction, dépassant toute proportion connue, aurait à supporter.

On ne peut du reste mieux résumer les sentiments divers qui furent exprimés alors, qu'en rappelant les termes mêmes du rapport officiel que M. Ménard-Dorian fit à la Commission de l'Exposition, composée de 43 membres.

Voici ce rapport :

« M. Alphand a soumis à la Sous-Commission une question qui a divisé, paraît-il, l'architecte du Palais des Machines et l'ingénieur en chef du contrôle des constructions métalliques. Ce palais sera-t-il fermé à ses extrémités par un pignon ou par une croupe ? L'architecte insiste pour cette dernière solution, qu'il trouve la plus conforme aux exigences artistiques. M. le Directeur des travaux semble incliner vers l'avis de l'ingénieur en chef, qui déclare la construction d'une croupe difficile et pleine d'inconnues redoutables. M. Alphand ajoute que, même en négligeant ces inconnues, il est dès aujourd'hui certain qu'une croupe serait plus coûteuse. Ce n'est pas cette dernière considération qui a décidé votre Sous-Commission, car elle est peut-être contestable, si l'on tient compte de la nécessité d'orner, de décorer convenablement les grandes surfaces verticales que présentera le pignon. Mais nous avons pensé que nous avions le devoir en pareille matière de nous ranger à l'opinion du contrôle technique, surtout quand cette opinion est celle de la prudence.

« La Sous-Commission, avant de terminer son rapport, tient à rendre un juste hommage au talent fait d'originalité et de franchise que M. Dutert a déployé dans l'étude de ses façades. La façade d'entrée, du côté de l'avenue de la Motte-Piquet, est tout à fait séduisante. Le caractère industriel y est accentué sans que le goût artistique y perde rien ; il n'est pas jusqu'aux cheminées des générateurs à vapeur que l'architecte n'ait fait concourir à l'effet décoratif. »

A la suite de ce rapport qui fut adopté par la commission des quarante-trois, M. Dutert modifia son projet et remplaça les croupes d'extrémités par deux fer-

mes verticales formant verrières. Le nouveau projet qu'il présenta et qui fut exécuté comprend une nef de 420 mètres de long sur 115 mètres de large, plus, deux galeries de 15 mètres de largeur, placées sur les longs côtés de 420 mètres de la nef principale. Ces deux galeries, à la hauteur de 8 mètres, présentent un étage qui permet de faire le tour du Palais des Machines en passant à l'intérieur près des deux verrières d'extrémités de la nef des machines.

Le Palais des Machines est relié à un grand vestibule central placé au milieu de sa longueur et en avant. Ce vestibule surmonté d'une coupole décorée, termine une grande galerie d'honneur dans laquelle débouchent les galeries des industries diverses.

Disons, pour achever d'esquisser le Palais des Machines que la nef comprend 20 fermes, pour la longueur de 420 mètres y compris les deux fermes-verrières d'extrémités. L'écartement de ces fermes étant de $21^{m},50$, la travée centrale de $26^{m},40$ et les travées d'extrémités de $25^{m},20$. Chaque ferme se compose d'un arc métallique à croisillons en forme d'ogive surbaissée. La hauteur sous clef est de 43 mètres.

La couverture est en zinc ; le tiers inférieur est plein et les deux tiers supérieurs sont vitrés.

Ce palais couvre une étendue superficielle de $115 \times 420 = 48300$ mq., libre de tout point d'appui intermédiaire.

Voilà les lignes principales de cette construction grandiose ; il reste à l'étudier en détail depuis sa fondation jusqu'à sa couverture en y comprenant la décoration. Tout est à prendre et à retenir dans l'étude de la construction de ce palais, parce que les diverses branches d'industries qui y ont pris part ont eu à résoudre des questions nouvelles et souvent difficiles. Tout ce qui concerne les calculs de résistance en tant que constructions métalliques est donné dans le chapitre traitant de ces questions. (Voir la 2me Partie : La Construction.)

Fondations. — Le premier coup de pioche pour les fondations du Palais des Machines a été donné le 5 juillet 1887. Les fondations ont été achevées le 21 décembre de la même année.

Les dimensions exceptionnelles du Palais des Machines, savoir :

Sa hauteur sous clef de 43 mètres ; la grande portée des fermes, 115 mètres ; leur grand écartement, $21^{m},50$; le petit nombre de fermes, (20 fermes), par conséquent seulement 40 points d'appui ; ces diverses conditions réunies ont pour résultat d'imposer une grande pression sur les points appuis et de diminuer la stabilité de l'ouvrage. Il en résulte en effet une charge verticale sur chaque appui de 412 tonnes et une poussée horizontale évaluée 115 tonnes. Conséquemment les bases ou fondations devaient présenter une assiette inébranlable.

Un premier travail consistait à s'assurer de la nature du sol du Champ de Mars dans la région où l'on devait ériger le Palais. Le Champ de Mars a été

bouleversé à diverses époques, notamment pour les Expositions de 1867 et 1878; aussi y rencontre-t-on des massifs de béton, des vestiges d'anciens travaux. On y retrouve encore çà et là des traces d'un mur de soutènement du fossé qui entourait le Champ de Mars en 1789. En divers endroits, des remblais de toute nature y ont été faits. Enfin, il faut se rappeler qu'en 1878, on avait tiré du sable dans la région proche de l'Ecole Militaire sur une étendue de 200 m. × 60 m. Cette excavation a été remblayée plus tard par des matériaux de toute nature.

Des sondages faits en vue des travaux de l'Exposition de 1889 ont appris qu'une coupe géologique du terrain présenterait successivement une couche de remblais de $0^m,50$ à 7 mètres d'épaisseur n'ayant aucune consistance; une couche de graviers variant de $0^m,50$ à 7 mètres d'épaisseur; un banc de glaise de 7 mètres d'épaisseur surmonté d'une nappe d'eau de $0^m,25$ de hauteur; puis une couche de sable quartzeux de $1^m,50$, au-dessus de laquelle se rencontre un banc de marne de $19^m,40$, reposant sur la craie blanche.

L'irrégularité des premières couches ne permettait pas de pratiquer un système unique de fondation et l'on adopta trois types de piles suivant l'épaisseur de la couche de gravier. On s'arrêta à la première couche de gravier lorsque son épaisseur était suffisante et l'on battit des pieux dans les endroits où cette couche était réduite à $0^m,50$ d'épaisseur. Ainsi partout où la couche de gravier était réduite à $0^m,50$ on pratiqua un type de fondation à pilotis qui se composait comme le montre le plan (fig. 2, pl. 1), de 28 pieux disposés en quinconce. Ces pieux, qui avaient $0^m,33$ de diamètre et 9 mètres de longueur, s'arrêtaient dans la couche de sable quartzeux de $1^m,50$ qui est immédiatement au-dessous du banc de glaise de $7^m,50$.

Les têtes des pieux furent recépées à $0^m,80$ au-dessus du fond de la fouille; puis ces têtes furent noyées dans un plateau coulé de béton de ciment de Portland de $1^m,80$ d'épaisseur présentant une assiette de $11^m,20 \times 6^m,50$. Au-dessus de ce massif de béton est construite une assise de maçonnerie de meulière dont l'épaisseur dépend de la profondeur de la fouille. Sur cette maçonnerie, s'élève la pile proprement dite dans laquelle sont noyés les boulons d'ancrage du pied de la ferme. Cette pile a $3^m,32$ de hauteur sur une base de $7^m \times 3^m,50$.

Dix piles ont été ainsi construites sur pilotis d'après la disposition qui vient d'être décrite. Elles occupent l'emplacement en face de l'Ecole Militaire, là précisément où l'on avait exploité une carrière de sable en 1878, circonstance dont il a été parlé plus haut.

C'est la partie des fondations du Palais des Machines qui a nécessité le plus de soins et la plus grande dépense.

Pour ce premier système de fondation, la résistance demandée au sol est de $1^k,9$ par centimètre carré.

Un second système de fondation, qui est une simplification du précédent, a été appliqué sur le côté opposé de l'Ecole Militaire. En cette région, le gravier ayant

une épaisseur qui varie de $1^m,50$ à 2 m., on a pu supprimer le pilotis et réduire la fondation à un prisme de béton présentant une base de $11^m,20 \times 6^m,50$ et une épaisseur de $1^m,35$. Sur cette fondation, la pile proprement dite est construite comme dans le premier cas. Il y a cinq piles construites d'après cette disposition.

Enfin, pour les vingt-cinq autres piles, la couche d'alluvion ayant une épaisseur qui dépasse 3 mètres, les conditions sont plus favorables et la fondation s'est réduite à un massif de maçonnerie de $3^m,70$ de hauteur sur une base de 7 m. $\times$ $3^m,50$ reposant sur un plateau de béton débordant tout autour de $0^m,25$ et qui présentait une épaisseur de $0^m,50$ à $0^m,80$. Dans ce dernier cas, la résistance demandée au sol est de 3 kilogrammes par centimètre carré.

Les maçonneries de toutes les fondations sont en meulière hourdée au mortier de ciment de Portland. Le mortier présente la proportion de deux tiers de sable de rivière pour un tiers de ciment. Le béton contient deux parties de mortier pour trois parties de cailloux.

Du côté opposé à l'Ecole Militaire, les fouilles ne présentèrent aucune difficulté et on put les faire à parois verticales en maintenant les terres au moyen de couches et d'étrésillons ; on opéra ainsi partout où la profondeur ne dépassait pas $4^m,50$.

Pour les piles à pilotis, la fouille descendant à 7 mètres, un boisage vertical était difficile et ne se serait pas prêté au battage des pieux. On supprima le boisage et l'on donna à la fouille la forme d'un tronc de cône elliptique renversé. On appliqua ce système de fouille à cuvette elliptique partout où la mauvaise qualité des terres ne permettait pas un boisage vertical. Pour les piles à pilotis, c'est au fond de la fouille que l'on battait les pieux et que l'on coulait le plateau de béton de ciment de Portland de $1^m,80$ d'épaisseur à base rectangulaire.

Cette fouille elliptique donne au point de vue des déblais une économie sensible sur la fouille rectangulaire, et de plus, pour la même inclinaison, les talus présentent une plus grande résistance à l'éboulement. L'inclinaison moyenne du talus est de $0^m,60$ par mètre. Ces fouilles cubaient de 1000 à 1200 mètres chacune. Leurs dimensions à l'orifice étaient de 20 mètres sur 15 mètres; au plafond $11^m,20 \times 6^m,50$; leur profondeur de 7 m. à $7^m,50$.

Chaque fouille exigeait le travail de vingt terrassiers pendant six jours. Le travail moyen était de 250 bennes par jour, la benne cubant $0^{m.c},800$.

Les pilots étaient en sapin du Jura. Ils étaient enfoncés au moyen d'un mouton à vapeur Lacour. L'équipe des charpentiers batteurs de pilots se composait de onze hommes, y compris le mécanicien. Lorsque le travail était régulier, on battait en moyenne neuf pieux par jour. Pour battre une fouille, il fallait trois jours et un jour pour transporter la sonnette d'une excavation à une autre. Les pieux s'enfonçaient au minimum de 8 à 9 mètres ; mais en certains points il a fallu des pieux de 14 mètres.

Le plateau de béton cubait 131 mètres cubes. Pour le couler et le pilonner, il fallait vingt-six hommes pendant deux jours.

Le cube de la pile en maçonnerie variait de 120 à 130 mètres. Le travail exigeait neuf journées de six ou sept compagnons avec leurs aides.

Des filets en fer ayant pour objet de retenir les boulons d'ancrage furent noyés dans la maçonnerie et disposés comme l'indique la fig. 2, pl. I.

Les fondations des galeries latérales ne présentent aucune particularité intéressante. Elles sont formées de puits en béton reliés par des arcs en meulière.

Les travaux des fondations du palais des machines ont été exécutés pour la terrasse et maçonnerie par MM. Manoury, Grouselle et Cie, et pour les pilotis par M. Poirier.

Montage du Palais des Machines.

Les données du problème. — L'ossature du Palais des Machines se compose de vingt fermes ayant chacune la forme d'une ogive surbaissée de 115 mètres d'ouverture et présentant sous clef une hauteur de 43 mètres.

La travée courante (écartement des fermes) est de $21^m,50$.

La travée centrale est de $26^m,40$.

Les travées d'extrémité sont de $25^m,20$.

Chaque ferme repose sur deux articulations, placées au niveau du sol et, en outre, elle est formée de deux parties symétriques s'arc-boutant au sommet de l'ogive, ainsi que le montre le dessin perspectif pl. 13, 14.

Le poids d'une ferme courante est de 196 tonnes, environ.

Les deux fermes d'extrémité ou de tête pèsent chacune 240 tonnes.

Le montage du Palais des Machines a exigé six mois de travail. Il a été commencé dans les premiers jours d'avril 1888 et terminé à la fin de septembre de la même année. Ce travail avait été confié par moitié à la Société de construction des anciens établissements Cail et à la Compagnie de Fives-Lille.

Les méthodes de levage pratiquées par ces deux Compagnies sont différentes :

La Société Cail a monté chaque ferme par fragments dont le poids n'excédait pas chacun trois tonnes, en se servant d'un échafaudage continu portant la ferme jusqu'à son complet achèvement.

La Compagnie Fives-Lille a procédé en levant la ferme par grandes masses pesant chacune jusqu'à 48 tonnes, en se servant d'échafaudages indépendants.

Nous allons décrire ces deux systèmes.

Système de montage de la Société Cail.

(Planches 2, 3, 4, 5)

Le chantier de la Société Cail occupait un rectangle compris entre l'axe du Champ de Mars, et l'avenue de Suffren, parallèle à cet axe, et limité du côté de l'École Militaire à l'avenue de la Motte-Piquet.

Le système de montage pratiqué par cette Société a été étudié et présenté à la Direction des travaux par M. Barbet, ingénieur en chef de cette société ; M. Mauprime, chef des travaux, en a dirigé les diverses opérations.

Si l'on se reporte au plan (fig. 2, pl. 2, 3, 4, 5), les lettres L, M, N, O,...L', M', N', O' désignent les piles de fondation. Dans le même plan, des voies ferrées avec plaques tournantes desservent des wagonnets servant à amener à pied-d'œuvre les fers qui doivent entrer dans la construction sur place des fermes.

L'échafaudage que l'on voit en élévation (fig. 1) se compose de cinq pylônes A, B, C, D, E (voir le plan fig. 2), de 8 mètres de largeur. Le pylône central a 20 mètres de longueur, les deux pylônes extrêmes, 16 mètres et les deux pylônes intermédiaires, 18 mètres. Ces pylônes sont reliés à 10 mètres au-dessus du sol par un cours de moises et à leurs parties supérieures par deux planchers continus en madriers.

L'échafaudage était formé de deux parties absolument distinctes : un échafaudage portant un chemin de roulement, de 5 mètres de largeur, pour les grues de montage, installé à une hauteur de 36 mètres au-dessus du sol et un échafaudage proprement dit de soutien, portant les fermes pendant le montage et le rivetage. Ce dernier échafaudage à gradins suivait la courbure de la ferme. Ces deux échafaudages étaient rendus solidaires au moyen de moises et d'entretoisements. (*Voir les détails* pl. 2, 3, 4, 5, fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Grues de montage supérieures. — L'échafaudage, installé à 36 mètres au-dessus du sol, porte deux grues roulantes spécialement destinées au montage des fermes. L'une de ces grues, figurée en *a*, sur la droite de l'élévation (fig. 1), est représentée en détail (fig. 8). L'autre grue occuperait une situation symétrique à gauche.

Chacune de ces deux grues est formée d'un pylône en fer de 12 mètres de hauteur, roulant au moyen de quatre galets sur la voie ferrée, portée par le plancher horizontal, et se déplaçant parallèlement à la ferme.

Ce pylône porte à sa partie supérieure une poutre horizontale en tôle de 10 mètres de longueur, en porte-à-faux à chacune de ses extrémités. Cette poutre porte dans toute sa longueur deux rails sur lesquels se déplace, perpendiculairement à la ferme, un petit treuil roulant. Dans l'axe de la poutre, est ménagée une fenêtre qui permet aux chaînes du treuil de transporter sans arrêt un fardeau dans toute la longueur de la dite poutre. Un plancher de service pour les

ouvriers, une échelle pour y accéder et un garde-fou complètent l'appareil. Le châssis inférieur de cette grue, portant les quatre galets de roulement, s'étend du côté où la partie supérieure de la grue présente un porte-à-faux ; cette disposition augmente la stabilité de l'ensemble. En outre, un système double d'amarres rattachait le châssis de la grue aux rails, et la grue elle-même au sol au moyen de haubans en acier tendus par des palans. La grue était assez haute pour desservir le point le plus élevé de la ferme, et la poutre horizontale supérieure était assez longue pour permettre de saisir à terre une pièce au pied de l'échafaudage général, et de l'amener, par une combinaison convenable des deux mouvements perpendiculaires du treuil et de la grue, en un point précis du montage.

Les cinq pylônes devant se déplacer après le montage d'une ferme pour venir se placer à l'aplomb de la ferme suivante, chacun de ces pylônes était monté sur douze galets de $0^m,60$ de diamètre, permettant le déplacement dans un sens parallèle au grand axe du Palais au moyen d'une voie ferrée placée sur le sol.

Pour passer d'une travée à l'autre, après l'achèvement d'une ferme, on agissait simultanément sur les cinq pylônes de l'échafaudage général afin de produire le déplacement de $21^m,50$, distance horizontale d'axe en axe de deux fermes courantes. A cet effet, cinq grands treuils à double tambour cannelé étaient établis sur les moises basses de l'échafaudage. Des câbles de 60 millimètres de diamètre, amarrés à l'échafaudage, passaient sur des poulies de retour, fixées à de forts pieux enfoncés dans le sol ; ces câbles revenaient s'enrouler sur les tambours des treuils. Les points de traction, constitués par ces pieux, se trouvaient à 100 mètres de l'échafaudage.

La manœuvre pour chaque treuil de traction étant indépendante des autres treuils, la difficulté capitale était d'obtenir un déplacement identique des cinq pylônes, constituant l'échafaudage qui présentait un front de 102 mètres. On procéda de cette manière : Chaque pylône portait sur l'une des pièces inférieures de sa charpente un fil à plomb dont la pointe rasait l'un des deux rails directeurs de ce pylône. Sur les cinq rails, situés au-dessous des fils à plomb, on traçait, avant tout déplacement, des repères distants de $0^m,50$. Un chef d'équipe surveillait constamment ces repères pendant la manœuvre des treuils et arrêtait le treuil qu'il était chargé de diriger dès qu'un de ces repères était atteint par le fil à plomb. Il était donc facile en quelques instants de corriger les inégalités d'avancement des pylônes et de ramener tout le système à une position d'avancement identique pour les cinq pylônes. Grâce à ces dispositions, le déplacement de cette masse énorme de charpente n'exigeait qu'une heure au maximum.

Le cube total des bois de cette charpente était de 727 mètres cubes.

Grues latérales de montage. — Les deux grues latérales de montage sont désignées dans le plan (fig. 2). Elles sont représentées en détail par les fig. 2 et 3. Elles ont $26^m,50$ de hauteur et sont disposées comme les grues de la plateforme supérieure, décrites plus haut et représentées fig. 8. Chacune de ces grues,

montée sur six galets, se déplace parallèlement à l'axe du Palais des Machines, mais immédiatement en dehors de la ligne des piles de fondation. Ces deux grues servent à monter les pieds-droits de cette ferme jusqu'au rampant de la couverture.

Marche générale du montage. — Le montage a commencé à partir de l'axe du Palais et s'est poursuivi jusqu'à l'avenue de Suffren. Après avoir boulonné sur les piles de fondation les sabots en fonte destinés à recevoir les pieds de la ferme, on procédait au levage des pieds-droits au moyen des grues latérales F, G (voir fig. 2) dont il a été parlé dans le paragraphe précédent. Chaque pile était entourée d'un échafaudage constitué par quatre sapines portant deux à deux des traverses horizontales permettant d'établir des planchers volants à toute hauteur (fig. 2 et 3). Les pièces de fer ou éléments métalliques de la ferme étaient amenées par des wagonnets, saisies par les chaînes des treuils et amenées au-dessus de la rotule inférieure de la ferme. Les riveurs suivaient les monteurs au fur et à mesure de l'avancement du montage. Le lavage se continuait ainsi par fragments n'excédant pas trois tonnes jusqu'au tympan portant le chemin de la couverture. A partir de ce moment, les grues latérales étaient déplacées et transportées à l'aplomb de la ferme suivante où l'on commençait le montage de deux autres pieds-droits. En même temps, les grues métalliques de la plate-forme supérieure de l'échafaudage générale, levaient toutes les pièces des membrures et les treillis à leurs places définitives où elles étaient brochées et boulonnées pour compléter la première ferme. Les deux demi-arcs de cette ferme se montaient simultanément jusqu'au sommet de l'ogive. Pendant le montage, la semelle inférieure, de la ferme était calée par couples de vérins au nombre de 32 pour toute la ferme ces vérins maintenant ainsi la ferme dans une position un peu plus élevée que celle qu'elle devait occuper définitivement et cela afin de laisser un peu de jeu à l'articulation du sommet. Après le décalage de la ferme, celle-ci prenait son assiette définitive et l'on boulonnait le collier d'articulation. Dès que le travail était suffisamment avancé, les grues levaient successivement les pannes basses reliant deux fermes consécutives, et ce travail se continuait jusqu'aux pannes du sommet de la ferme.

En résumé, le montage se poursuivait constamment sur deux fermes consécutives. Pendant qu'on terminait une ferme, on attaquait les pieds-droits de la seconde et ainsi de suite.

Montage des pannes et chevrons. — Le montage des pannes et des chevrons n'a présenté qu'une difficulté résultant du maniement de pièces très longues. Le levage des pannes ne pouvait se faire d'équerre, puisqu'il fallait faire échapper à ces pièces la saillie de la membrure d'intrados de la ferme courbe. Mais ce sont à des difficultés ordinaires faciles à vaincre avec un personnel

habitué à travailler à une grande hauteur. Ce sont des charpentiers qui ont exécuté ce travail. (Voir le schéma, fig. 7.)

Rivure. — Le total des rivures d'une ferme était de 32,000 environ. Sur ce nombre, 4,000 ont été exécutées dans les chantiers Cail, 8,000 ont été faites à pied-d'œuvre et 20,000 sur les échafaudages. En moyenne il y a eu par jour 215 ouvriers. Les premières travées ont exigé 13 jours de travail, puis les suivantes ont été faites en 12 jours et les dernières en 10 jours.

Le système de la Société des anciens établissements Cail a offert une grande facilité de déplacement des échafaudages.

Il n'a exigé le démontage d'aucune pièce de charpente pour passer d'une travée à l'autre. De plus, son mode d'emploi est indépendant de la dimension de la travée. Aussi a-t-il pu être appliqué sans aucune modification et sans aucune manœuvre spéciale à la travée centrale et aux travées d'extrémité.

Système de montage de la Compagnie Fives-Lille.

(Planches 6, 7, 8, 9, 10)

Ce système a été appliqué aux dix fermes du Palais des Machines du côté de l'avenue de Labourdonnais. Le travail a commencé à partir de l'axe du palais et s'est poursuivi jusqu'à la ferme de tête sur l'avenue de Labourdonnais.

Ce système de montage a été étudié et proposé par M. Lantrac, ingénieur en chef de la Compagnie. M. Balme, chef des travaux, a conduit le montage. Dans son ensemble, la méthode de levage et de montage consiste à assembler et à river sur le sol les éléments d'une ferme, répartis en quatre tronçons : deux pieds-droits et deux arbalétriers ; puis à lever et à mettre ces quatre tronçons à leurs places définitives, de manière qu'il n'y ait plus qu'à river sur les échafaudages les parties de raccordement.

Sur les 32,000 rivures qui réunissaient les éléments constitutifs de la ferme (non compris celles des pannes et autres pièces de la travée), 19,600 étaient exécutées aux ateliers, 10,300 sur le sol du Champ-de-Mars et 2,100 seulement sur les échafaudages.

Le levage s'est fait au moyen de trois échafaudages absolument indépendants les uns des autres ; un pylône central et deux échafaudages latéraux. Les planches 6, 7, 8, 9, donnent la disposition générale du chantier. Les piles de fondation des fermes y sont désignées par les lettres D, E.., I. J ; D', E'... I', J'. Le chantier est en communication avec des voies ferrées amenant les wagons chargés de fers venant des ateliers. Les trois échafaudages dont il a été parlé ci-dessus

sont en X, Y, Z (fig. 1). Le pylône central a 22 mètres de long sur 19 mètres de large et 44 mètres de hauteur, non compris les charpentes accessoires. Le plancher supérieur de ce pylône est à gradins ; il suit l'inclinaison des fermes.

Un contrefort *a*, très robuste et solidement entretoisé, placé dans l'axe du pylône, était destiné à supporter le principal effort des poulies de levage *b* et *c*, placées à sa partie supérieure, (fig. 1).

Deux treuils à double tambour cannelé *d*, *e*, commandant ces poulies, étaient placés sur un plancher établi sur les moises basses de l'échafaudage. Deux autres treuils plus petits *f*, *g* étaient installés sur un plancher de service immédiatement au-dessous du plancher supérieur. Ces diverses plates-formes étaient desservies par un escalier en bois. Le pylône central était monté sur dix-huit galets de 0^m, 80 de diamètre, roulant sur quatre cours de rails parallèlement à l'axe du palais.

Ces rails, du type Vignole, étaient fixés longitudinalement sur des longrines de 0^m,40 de large sur 0^m,15 d'épaisseur, qu'on transportait à chaque déplacement en les reportant en avant du pylône vers la travée suivante.

Les deux échafaudages latéraux Y, Z étaient identiques. Décrivons l'échafaudage Z : il se composait de trois parties : la partie la plus importante Z avait même largeur que le pylône X et était limitée comme lui par deux fermes consécutives. Cet échafaudage portait aussi un plancher supérieur dont les gradins suivaient à peu près la courbure de l'arc métallique.

Des deux côtés de l'échafaudage Z se trouvaient deux pylônes secondaires U, V, qui lui étaient reliés par des moises et contrefiches, placées à diverses hauteurs, mais laissant libres toutefois deux échancrures ou créneaux par lesquels pouvaient passer deux fermes consécutives quelconques. Ainsi dans la figure, la ferme HH' peut passer entre Z et U, et la ferme II' peut passer entre Z et V.

Les pylônes U et V sont d'inégales hauteurs. Ils portaient tous deux à leur partie supérieure une plate-forme de service avec rails, sur lesquels roulaient deux appareils de levage *h* et *i*, servant à monter la sablière basse, l'arc, le cheneau et les pannes de la travée. C'est pour ce service que la plate-forme supérieure dépasse environ de 3 mètres en encorbellement le nu de la face latérale du Palais. Le pylône U, plus important que le pylône V, servait en outre à monter les pièces de raccordement des grands tronçons des fermes ; conjointement avec le pylône central X, il servait à lever ces grands tronçons. C'est pour cette raison qu'il est muni à sa partie supérieure d'une poulie de levage *j*, commandée par un treuil *k*, identique à ceux du grand pylône. Il est facile de comprendre qu'étant donnés ces divers services, le pylône U devait être beaucoup plus élevé que le pylône V. Cette disposition n'avait aucun inconvénient pendant le déplacement des échafaudages, puisque ce pylône U était toujours en avant de la ferme qui était achevée. Le pylône V, au contraire, devait être beaucoup plus bas, parce qu'il devait pouvoir passer sous la ferme précédente. Il résultait

de ces dispositions que lorsque l'on se transportait d'une travée à la suivante on était forcé de faire subir à l'ensemble des échafaudages U, Z, V un triple, mouvement :

1° Un mouvement perpendiculaire au grand axe de la nef Z Z I, d'une amplitude de 17 mètres environ ;

2° Un mouvement parallèle au grand axe Z_1 Z_2, d'une amplitude de $21^m,50$ (largeur d'une travée) ;

3° Un mouvement perpendiculaire au grand axe Z_2 Z_3, en sens inverse du premier, ramenant l'ensemble des charpentes à leur alignement primitif.

Ces manœuvres étaient exécutées en même temps pour les deux échafaudages Z et Y. Quant au roulement de chaque pylône, il s'est effectué sur trois réseaux de rails, placés sur un plan horizontal, à l'aide de 50 galets de $0^m,80$ de diamètre, fixés sous les moises basses des charpentes.

Pour le premier mouvement, on a employé 28 galets, pour le second mouvement, on a dû en employer 22 ; enfin, le troisième mouvement en a nécessité autant que le premier, soit 28 galets.

On pouvait faire varier la hauteur de l'axe de ces galets à l'aide de coussinets en fonte qu'on pouvait ajouter ou enlever, au-dessus des tourillons, lorsqu'on passait d'un réseau à l'autre. Voici comme on procédait : à l'aide d'une batterie de vérins hydrauliques, on soulevait les échafaudages; on supprimait ensuite les coussinets des galets qui venaient de rouler et on suspendait ces derniers dans leurs chapes à l'aide d'une clavette ; puis, on faisait glisser les coussinets au-dessus des tourillons des galets du réseau perpendiculaire, et on décalait les charpentes. Le mouvement de translation était produit par deux câbles parallèles attachés à des pieux et commandés par les treuils *k* et *l*.

En définitive, le plan de roulement dans les deux sens restait le même ; c'étaient les deux systèmes de galets qu'on élevait ou qu'on abaissait, suivant les cas, de quelques centimètres, afin de permettre à l'échafaudage de porter alternativement sur l'un ou sur l'autre.

C'était une opération des plus délicates ; elle exigeait que le calage des réseaux entrecroisés des rails fût fait avec un soin tout particulier, afin d'éviter que les tronçons de rails ne prissent des dénivellations qui auraient fatigué les assemblages. Avant tout déplacement, on devait aussi démonter les pièces de charpente accessoires qui dépassaient le profil de la ferme.

Ce qui prouve bien que ces travaux ont été conduits habilement, c'est que, malgré toutes ces difficultés et l'importance des masses à mettre en mouvement le déplacement total des trois échafaudages n'a jamais demandé plus de deux jours pour s'achever. Ajoutons qu'on n'a eu à constater aucun accident dans ces difficultueuses manœuvres.

Marche générale du montage. — On commençait d'abord par fixer sur les fondations, à l'aide de boulons d'ancrage, les plaques de fonte formant l'assise

métallique de la ferme ; puis on réglait sur celle-ci, à l'aide de coins d'acier, les sabots et rotules destinés à supporter le pied des fermes. On étendait au préalable des feuilles de plomb de 5 millimètres d'épaisseur, sur l'enduit de ciment formant l'arase de la maçonnerie.

La compagnie de Fives-Lille a expédié les morceaux d'articulation des pieds et des têtes, les membrures d'intrados et d'extrados, et les montants et treillis avec leurs accessoires.

Ces fers, amenés par wagons, étaient déchargés directement au droit de chaque pile de fondation.

On procédait ensuite au montage et au rivetage des quatre tronçons composant la ferme. L'opération s'effectuait à l'aide d'une petite grue roulante *y* (fig. 1 et 2) de 10 mètres de hauteur environ, placée à cheval sur les deux tronçons d'une demi-ferme qu'elle desservait très commodément. Le pied droit *m* et l'arbalétrier *n* étaient couchés parallèlement *sur le sol.*

Le grand avantage du système employé par la Compagnie de Fives-Lille, c'est qu'on pouvait monter à l'avance autant d'éléments de fermes qu'on voulait. On pouvait donc établir des ateliers secondaires sur lesquels on déversait à tout instant le trop-plein du personnel d'ouvriers inoccupés pendant l'achèvement des menus détails d'une travée.

Supposons maintenant qu'une travée HH', I I' soit terminée, et voyons comment on procède pour passer d'une travée à une autre qui suit immédiatement la première. Le grand pylône central X était amené en X_1. Les échafaudages Y et Z étaient successivement amenés en Y_1, Y_2, Z_1, Z_2. Lorsque les échafaudages étaient en Y_2 et Z_2, les arbalétriers, placés préalablement sur de petits wagonnets de service, étaient amenés à travers les charpentes jusqu'en *n*', à l'aplomb des poulies de montage du pylône X_1, tandis que les pieds-droits *m*, étaient ripés en *m*' juste en face des rotules. On ramenait ensuite les échafaudages en Y_3 et Z_3, à leur alignement primitif.

Par suite de cette opération, les deux pieds droits *m*' et les deux arbalétriers *n*, se trouvaient à pied d'œuvre prêts à être levés.

Levage des pieds-droits, pl. 10.— Le levage des pieds-droits était une opération difficile, à cause de la forme même des fermes. La partie inférieure s'amincissant en forme de trapèze, pour s'ajuster au coussinet d'articulation, il était difficile et même impossible de faire pivoter directement le pied autour de ce coussinet. La Compagnie de Fives-Lille a réussi à résoudre le problème en faisant basculer le pied autour d'un axe auxiliaire jusqu'à ce que l'arrêt du coussinet vînt porter dans l'angle formé par la rotule et le sabot. A partir de ce moment, la rotation s'effectuait sur la rotule même.

L'axe auxiliaire dont on a fait usage était constitué par un cylindre d'acier de $0^m,12$ de diamètre, portant sur deux demi-coussinets dont l'un était fixé provisoirement à la ferme et dont l'autre portait sur une solide pièce de chêne couchée

sur le sol (fig. 1, 2). La traction nécessaire au levage du pied s'exerçait à l'aide de câbles et de poulies mouflées dont les unes étaient fixées sur l'échafaudag Z ou Y et dont les autres étaient attachées à la pièce métallique, à l'aide de palonniers et do bielles en fer forgé (fig. 3).

Les différentes pièces de l'attelage étaient disposées de façon à pouvoir osciller dans deux sens perpendiculaires ; ce qui permettait à la traction de s'exercer toujours normalement à l'axe de rotation.

L'effort à vaincre diminuait à mesure que le pied de la ferme se rapprochait de la verticale. Si donc le début de l'opération s'effectuait convenablement, on était toujours assuré de la mener à bonne fin.

Le câble du palan principal s'enroulait sur le treuil *e* du grand pylône ; le point d'attache de ce palan sur l'échafaudage Z était haubanné par un câble d'acier *s*, en sens contraire à la traction. Deux autres haubans qu'on laissait mollir au fur et à mesure du levage, garantissaient le pied-droit de tout écart de son plan de rotation. Enfin, un second palan qui n'agissait qu'au début de l'opération, était mû par le treuil *l*.

Pour lever un pied-droit du poids de 48 tonnes, une équipe de seize hommes, travaillant durant trois heures, était nécessaire. Cette opération s'est toujours effectuée sans incident, et avec une grande régularité.

Levage des arbalétriers. — Après le levage et le calage des deux pieds droits sur les échafaudages latéraux, il s'agissait de lever les pièces de membrures et les treillis qui forment le raccordement entre les grands tronçons supérieurs de la ferme. Ce travail s'exécutait au moyen de grues roulantes *h* ; en même temps que s'effectuait cette opération, on procédait à l'amarrage des arbalétriers préalablement amenés au pied du pylône X par la manœuvre précédemment indiquée.

Chaque tronçon était saisi à ses deux extrémités par des câbles et des poulies mouflées analogues aux câbles et aux poulies employés pour le montage des pieds droits. Le tronçon était soutenu par six brins de câbles de 75 millimètres de diamètre. Le poids de la pièce étant de 38 tonnes et chaque câble ayant été calculé pour 40 tonnes, avec un coefficient de sécurité convenable, on voit que la sécurité du levage était assurée ; il fallait en effet pouvoir compter, d'une façon absolue, sur la résistance des engins employés pour oser lever, à 45 mètres au-dessus du sol, une masse aussi considérable. Du reste, les précautions avaient été si bien prises que l'opération en question a toujours été effectuée d'une manière régulière.

Les deux palans de levage pour l'arbalétrier tracés dans la figure 1 correspondent aux treuils *k* et *d*.

Pour commencer la manœuvre du levage, on donnait à l'arbalétrier une position inclinée n'_1 ; on levait ensuite parallèlement à elle-même la pièce n'_2, jusqu'à ce que la tête atteignît le niveau de l'articulation supérieure. A ce moment, l'in-

clinaison de la poulie était plus grande que celle de la partie correspondante de la ferme montée, et sa tête était écartée d'environ 2 mètres de l'axe de l'articulation.

Pour amener le tronçon à sa position définitive, on arrêtait le treuil *d*, tandis qu'on continuait le levage à l'aide du treuil *k*; le point d'attache *t* tendait à se mouvoir sur la verticale, la tête de la poutre tendait à se rapprocher de l'axe. Pour aider à ce mouvement, on amarrait à la tête du tronçon un palan secondaire *w*, mû par le treuil inférieur *f*. Ce palan facilitait le rapprochement de la tête de la poutre. Pendant cette période de levage, on agissait un peu sur le treuil *d*, en roulant ou déroulant le câble jusqu'à ce que le coussinet de la tête enserrât rigoureusement le tourillon de l'articulation supérieure. Le levage de l'autre tronçon supérieur de la ferme se faisait simultanément; lorsque le contact parfait des deux tronçons supérieurs était obtenu, on boulonnait immédiatement le collier qui réunissait les deux coussinets de l'articulation supérieure de la ferme. Pendant ce temps, on brochait et on boulonnait les points de jonction des arbalétriers avec les pieds-droits. Après quoi les équipes de riveurs se mettaient à l'œuvre pour achever les parties de raccordement.

L'opération de levage des grands tronçons exigait cinq heures et quatre-vingts hommes, savoir : quatre équipes de seize hommes chacune aux quatre grands treuils, deux équipes de huit hommes chacune, charpentiers et monteurs pour les raccordements. En outre, des équipes de cinq hommes, nécessaires aux treuils supérieurs *f* et *g*, étaient détachées des équipes des treuils *d* et *e*, au moment de la jonction.

Montage des pannes. — Pour amener les pannes au-dessus du vide existant entre les trois échafaudages, la Compagnie de Fives-Lille a employé un système de roulement fort ingénieux.

Ainsi qu'il a été dit, les plates-formes VV' des pylônes latéraux portaient deux petites grues mobiles *h*, *i* pouvant dépasser en encorbellement la façade latérale de la grande nef. Dans cette position, ces grues servent à lever la sablière basse, l'arceau et le chéneau reliant deux fermes consécutives. Lorsque ces diverses opérations sont terminées, on lève successivement les pannes quatrième, troisième et deuxième de la travée, et on les amène sur le plancher supérieur de l'échafaudage.

Les extrémités supérieures des pannes ont été préalablement armées de flasques en tôle et de galets pouvant rouler sur l'extrados des fermes.

On assemblait alors très facilement sur les gradins du plancher ces trois pannes et leurs six chevrons; puis, lorsque l'ensemble des pièces était rivé, on faisait rouler tout le système au moyen de deux treuils placés sur le pylône central, et on l'amenait à sa position définitive. L'écartement des groupes de galets était obtenu par des tirants en fer rond ayant la longueur du chevronnage. Le déplacement terminé, on enlevait les galets et on descendait les flasques à l'aide de

vérins spéciaux disposés sur de petits chevalets en charpente. Les pannes venaient alors porter sur des goussets préalablement rivés à la ferme, et sur lesquels on les boulonnait.

Quant à la première et à la cinquième panne, elles étaient montées directement sur les échafaudages, et leur pose ainsi que celle des chevrons correspondants ne présentait aucune difficulté, puisqu'elle s'effectuait aussi commodément que sur le sol. La pose des petites pannes et des fers à vitrages se faisait au moyen d'échafaudages volants et de planches mobiles, pendant que les grands échafaudages se transportaient à la travée suivante.

La même série de manœuvres se répétait pour chacune des fermes courantes. Quant à la première ferme J J', elle a été levée comme les autres, mais sur la face opposée des échafaudages et du pylône central.

La moyenne d'ouvriers, employés par jour sur le chantier, a été de deux cent cinquante.

La première ferme a été levée le 20 avril 1888.

Le temps nécessaire pour le montage des trois premières travées a été de cinquante jours. Chaque travée suivante a exigé seulement en moyenne dix jours.

La durée totale du montage a été de six mois.

Menuiserie et parquet du comble

(Pl. 21, 22, 23, 24)

Si l'on se reporte à la disposition générale des grandes fermes du Palais des Machines (pl. 11, 12, 13, 14), on voit que chacun des deux versants du comble est divisé en cinq parties ou régions par les pannes métalliques verticales qui réunissent ces fermes.

Les quatre premières régions supérieures, à partir du faîtage, sont couvertes et fermées par des lames de verre. La cinquième région, inférieure et adjacente au chéneau, plus grande que les précédentes, comprend environ le tiers du rampant. Cette région est couverte en zinc. Les deux grandes travées d'extrémité sont entièrement pleines et couvertes également en zinc.

Comme on peut s'en rendre compte, il y a là de grandes surfaces qui devaient recevoir nécessairement un chevronnage en bois pouvant porter la couverture, ce chevronnage devant trouver ses points d'appui sur les éléments métalliques des grandes fermes.

Pour fermer la cinquième région dont il a été parlé ci-dessus, M. Dutert a

adopté la disposition représentée par le croquis (fig. 1), qu'il sera facile de comprendre en se représentant l'un des rectangles limités par les grandes fermes, les pannes et le chéneau ; ce rectangle divisé par trois chevrons en fer venant s'assembler d'une part sur le caisson en tôle, formant chéneau, et, d'autre part, sur le montant vertical d'une panne. Soit A l'un de ces chevrons,

Sur cette première ossature de chevrons A, reposant perpendiculairement à leur direction, sont placés cinq cours de petites pannes en fer à T et soit B l'une de ces petites pannes. Tel est le réseau des pannes B sur lequel doit s'appuyer le chevronnage en bois.

Ce chevronnage est formé de bastaings de $0^m,17 \times 0^m,065$, posés de champ, espacés d'environ $0^m,33$ d'axe en axe. Sur la face supérieure du chevronnage sont fixés le voligeage et la couverture en zinc ; sur la face inférieure, est cloué un parquet de 27 millimètres, à rainures et languettes, destiné à recevoir les toiles peintes et les staffs formant la décoration intérieure du Palais.

La partie de chevronnage ainsi disposée comprend une largeur de 16 mètres sur une longueur de 420 mètres, qui est celle de la galerie. En y ajoutant les deux travées d'extrémités qui sont entièrement boisées, on obtient une étendue superficielle de 17,000 mètres carrés de menuiserie qu'il fallait établir à une hauteur minima de 25 mètres au-dessus du sol.

On ne pouvait se servir pour un tel travail d'échafaudages fixes et l'architecte prit le parti de faire usage d'un échafaudage roulant disposé comme il suit :

La partie basse H (fig. 2), formant un parallélipipède, roulait parallèlement au grand axe du Palais au moyen de seize galets et de quatre cours de rails. La partie haute K de l'échafaudage, formant une sorte d'escabeau à gradins, pouvait se déplacer transversalement au moyen de galets roulant sur des rails fixés sur la plate-forme supérieure de la première charpente. Ces deux déplacements, indépendants l'un de l'autre, permettaient à l'ensemble de l'échafaudage de passer facilement d'une travée à l'autre en échappant l'intrados de la ferme. Le déplacement de l'escabeau K se faisait au moyen de pinces et leviers manœuvrés à la main. Le mouvement général de l'ensemble était donné par un treuil L, agissant sur un cordage fixé à un pieu placé à distance.

Il y avait deux échafaudages semblables pour desservir chacun des deux versants de la grande nef.

Le travail fut conduit comme il suit : chacun des échafaudages débuta par l'une des travées du centre et s'avança, de travée en travée, vers la ferme d'extrémité, en posant d'abord les chevrons.

Les couvreurs suivaient les charpentiers et couchaient la volige et le zinc de la couverture. Arrivé à la verrière d'extrémité, l'échafaudage reprenait le chemin déjà parcouru jusqu'à la travée centrale, et l'on posait, chemin faisant, le parquet du plafond ; ensuite, l'échafaudage continuait son mouvement dans la

seconde moitié du Palais que l'on chevronnait jusqu'à la seconde verrière d'extrémité ; enfin, on posait le parquet en revenant vers le milieu de la galerie. Le travail était alors terminé.

Les poseurs de toiles peintes exécutaient le broquettage des toiles aussitôt l'achèvement du parquetage d'une travée, avant que l'échafaudage fût transporté dans la travée suivante.

Il a fallu environ de trois à quatre jours pour chevronner une travée ; deux à trois jours pour le parquetage et un à deux jours pour la couvrir de toiles décoratives.

Les bois étaient montés au treuil et à la poulie par des manœuvres placés sur le sol.

Les deux travées pleines des extrémités, près des verrières, présentèrent plus de difficultés et plus de travail, puisqu'il fallait établir des échafaudages fixes s'élevant jusqu'au faîtage. Ces échafaudages furent portés par les treillis mêmes des pannes. On se servit de planchers analogues pour la pose des staffs des grands écussons en relief, appliqués dans les deux travées d'extrémité et celles du Palais.

La construction du chemin de faîtage et celle des chéneaux ne présentèrent aucune difficulté.

Les galeries latérales du Palais des Machines sont formées par une série de voûtes pénétrant la grande nef. Ces voûtes sont couvertes au moyen d'un parquet à rainures et languettes, cloué sur une fourrure en bois, (fig 3). La surface des bas-côtés à couvrir de bois était d'environ 16,500 mètres carrés.

L'entreprise des travaux de charpente et menuiserie du Palais des Machines fut adjugée à la Société des ouvriers charpentiers de la Villette (directeur M. Favaron). Ces travaux furent commencés en juillet 1888 et terminés à la fin de janvier 1889. La moyenne des ouvriers occupés sur le chantier, tant compagnons charpentiers que parqueteurs et manœuvres, fut d'environ soixante hommes.

Menuiserie proprement dite (*Entreprise Laureilhe*). — Cette menuiserie très simple se réduit à quelques groupes de fenêtres au premier étage et de portes au rez-de-chaussée. Nous donnons ici un spécimen d'une des portes du rez-de-chaussée (fig. 4).

Parquetage du rez-de-chaussée (*Entreprise Jeanselme*) *et parquetage* du *premier étage (Entreprise Collet).* Le parquetage du rez-de-chaussée se compose de frises de 27 millimètres, clouées sur des lambourdes de $0^m,08 \times 0^m,08$, à trois par mètre, reposant directement sur le sol et consolidées par un quinconce de piquets de chêne enfoncés à la masse.

Les voies ferrées sont couvertes de panneaux mobiles, afin de laisser passer les wagons jusqu'au dernier moment de l'installation des exposants.

Le parquet du premier étage présente une disposition particulière indiquée par la fig. 5.

Le plafond du rez-de-chaussée, étant constitué par des panneaux de staff, était trop faible pour recevoir le scellement des lambourdes. Aussi ces dernières sont posées simplement sur les solives en fer et maintenues à l'aide de cales, clouées alternativemant à droite et à gauche de chaque lambourde. Les frises de 27 millimètres sont clouées sur les lambourdes. On a ainsi supprimé le hourdis et par conséquent l'humidité des plâtres.

Couverture

(Pl. 21, 22, 23, 24)

La couverture d'un grand édifice présente de grandes difficultés. La couverture doit résister à trois causes principales de destruction: la pluie, le vent et la neige. Elle doit être aussi légère que possible afin d'être économique et de ne pas charger inutilement la charpente. Dans l'espèce d'édifice qu'il s'agissait de couvrir, le zinc remplissait le mieux toutes ces conditions.

La fig. 6 donne la disposition de la couverture pour deux travées courantes.

En G se trouve le chemin de faîtage, formé par un petit terrasson à double pente et couvert de zinc avec tasseaux et couvre-joints.

V est la partie vitrée destinée à éclairer la grande nef. La pluie qui tombe sur cette verrière est recueillie en A par un premier chéneau. La besace de ce chéneau étant au milieu de la travée, les eaux de deux demi-travées consécutives sont dirigées vers l'extrados de la grande ferme intermédiaire. Cet extrados porte deux rigoles jumelles B qui conduisent les eaux vers le tuyau de descente H.

La deuxième portion de la couverture Z est couchée en feuilles de zinc à tasseaux et couvre-joints.

La pluie qui tombe sur cette partie du versant est recueillie par le chéneau principal C de la grande nef, dont la haute pente se trouve, comme pour le chéneau A, au milieu de la travée. Les eaux des deux demi-travées de Z sont donc également dirigées par le chéneau C vers le tuyau de descente H.

Il en résulte que ce tuyau H doit recueillir les courants venant de quatre nappes distinctes. Afin d'éviter les remous provenant du choc de ces courants contraires, la cuvette du chéneau est partagée en deux parties *c*, *c'*, au moyen d'une cloison formant prolongement de la séparation médiane des rigoles B. Le fond de cette cuvette est garni de deux moignons carrés projetant les eaux dans la cuvette unique du tuyau de descente H.

La couverture des voûtes des bas côtés T est en ardoises de zinc. La pluie qu tombe sur les demi-travées est recueillie par un chéneau de séparation D, dans

lequel se déverse la quantité déjà très considérable de liquide provenant du tuyau H. Enfin la totalité des eaux recueillies s'écoule par un tuyau I, qui les verse dans la canalisation souterraine K. Un regard J, placé près du dauphin en fonte formant la base du tuyau, permet la visite de la canalisation.

Il y a seize travées semblables à celle qui vient d'être décrite. Les deux travées d'extrémités adjacentes aux fermes de tête sont complètement couvertes en zinc de haut en bas du versant. Le chéneau A existe également dans ces travées et sert à couper la nappe liquide provenant de la partie haute de la toiture. La travée milieu S ne diffère des travées courantes que par sa cote de largeur, plus grande de quelques mètres.

Chemin de faîtage. — Ce chemin est établi en zinc n° 14 avec tasseaux et couvre-joints. Une bande de plomb de $1^{mm},5$ d'épaisseur forme retombée sur les verres. Sur l'un des côtés du chemin, un garde-fou, garni d'un grillage en fer galvanisé et supporté de distance en distance par des montants fixés à l'ossature des fermes, assure la sécurité du passage. On y accède par six escaliers en tôle galvanisée, partant du chéneau de la grande nef et suivant l'extrados des fermes. Les marches de cet escalier sont fixées à l'aide de vis et rondelles en plomb sur les reliefs des rigoles B. Une rampe en fer en facilite l'usage.

Chéneau sous vitrage A (fig. 7). — Le chéneau sous vitrage est à fond plat. Il est établi sur un parquet de bois en pente, porté par des crochets en fer galvanisé. La feuille de zinc *a*, constituant ce chéneau, est en zinc n° 16. La feuille de zinc *z* de la couverture passe sous le chéneau ; une bavette *x*, fixée sous la la lame de verre, recouvre les reliefs des deux feuilles. En cas de débord ou de fuite, les eaux se déversent sur la couverture *z* sans autre inconvénient. Ce chéneau est très solidement établi, parce qu'il sert de passage aux ouvriers visitant la verrière. La largeur du chéneau C est de $0^{m},75$. Il a $0^{m},12$ de profondeur au point le plus haut, et $0^{m},22$ à la partie basse.

Rigoles d'extrados des grandes fermes (fig. 8). — L'extrados de chacune des grandes fermes est garni de trois hauts tasseaux sur lesquels viennent s'ajuster des feuilles de zinc n° 14 formant doubles rigoles *b' b'*. Chaque feuille contourne la saillie des tasseaux sans soudure ; elle est fixée sur la charpente par des vis à calotins et son recouvrement sur la feuille suivante est maintenu par des pattes en cuivre étamé. Les deux rives de la feuille viennent se rabattre sur le relief de la couverture Z. La profondeur des rigoles est de $0^{m},08$, leur largeur totale est de $0^{m},65$.

Couverture courante. — La couverture courante Z est constituée par des feuilles de zinc n° 12 qui s'agrafent l'une sur l'autre à pli vif sans entailles dans les angles des reliefs. Chaque feuille est maintenue par des pattes d'agrafe

en zinc, et sur chacun des reliefs de côté, par deux pattes passant sous le tasseau et rabattues sur le relief. Les couvre-joints ont un mètre de longueur par bout, et sont fixés par des gaines à dilatation libre. Il y a dix-huit crochets de service en fer galvanisé par travée.

Chéneau de la grande nef (fig. 9). — Ce chéneau, en zinc n° 14, est établi sur une garniture en bois, fixée elle-même par des vis à tête carrée sur le caisson de tôle de l'ossature métallique. Il se compose d'un fond de chéneau *d*, de deux jouées ou bandes de battellement dans les basses pentes *j*. Le larmier *z* de la couverture recouvre l'une des jouées et une main courante *i* recouvre l'autre.

La largeur de ce chéneau est de $0^m,65$. Chacune des deux pentes, à partir de la besace, est divisée en deux tronçons de 5 mètres, formant ressauts. Le premier ressaut a $0^m,08$; le second, formant la cuvette, a $0^m,18$.

Tuyaux de descente. — Ce sont des cylindres de $0^m,30$ de diamètre, en zinc n° 14, renforcés de distance en distance par des bagues en zinc mouluré et soutenus par des colliers en fer.

Le tuyau de descente H se prolonge dans le chéneau D par un long gueulard destiné à amener les eaux du grand comble dans la partie la plus profonde du chéneau D.

Chéneau des bas côtés. — Ce chéneau, devant recevoir, outre la pluie tombant sur les toits des bas côtés, toutes les eaux d'une travée de la grande nef, c'est-à-dire d'une surface longitudinale de $57^m,15 \times 21^m,50$, soit plus de 1200 mètres carrés, a exigé tous les soins de l'architecte. Aussi ce chéneau a été disposé de manière qu'en cas de fuite, lors d'un grand orage ou d'un dégel, les eaux accidentelles puissent s'écouler au dehors sans occasionner de dégâts.

A cet effet le chéneau est double et comprend deux canaux superposés *m* et *n* (fig. 10). Le premier *m* est formé d'un caisson de zinc soudé d'un seul tenant dans toute la longueur du parcours et est porté par un voligeage en sapin. Au-dessus de ce chéneau de garantie, se trouve une série d'étriers en fer, sur lesquels sont vissés des tasseaux de bois ; ils soutiennent le parquet formant la paroi du chéneau proprement dit.

Ce chéneau est constitué par un fond *n*, deux bandes de battement *j* et une banquette *s* sur laquelle viennent se superposer les ardoises en zinc *t*. Les deux chéneaux *n* et *m* viennent déverser leurs eaux dans la cuvette du tuyau de descente I. Seulement le larmier du chéneau de garantie *m*, qui ne sert qu'en cas d'orage violent ou d'accident, est recouvert et dépassé par le moignon du chéneau principal *n*.

Ce chéneau *n* est partagé en trois tronçons de 5 mètres chacun par deux ressauts de $0^m,08$. Il a $0^m,60$ de largeur, $0^m,30$ de profondeur au point le plus haut et $0^m,65$ au point le plus bas.

Le chéneau principal est en zinc n° 14 et le chéneau de garantie, en zinc n° 12.

Couverture des bas côtés. — Cette couverture est en ardoises de zinc n° 10. Ces ardoises sont des losanges de $0^m,60 \times 0^m,60$ avec patte obturatrice en tête et présentant deux pattes d'agrafe sur les côtés.

La coupe X Y de la fig. 6 montre que la série des voûtes, revêtues en ardoises de zinc, qui forme la couverture des bas côtés vient pénétrer la paroi verticale de la grande nef. Lorsqu'un appentis en contre-bas vient s'appuyer sur un mur en maçonnerie, il est facile de rendre étanche la jonction au moyen d'une bande de zinc et d'un solin en plâtre. Mais ici, il n'en était pas de même. Voici la solution qui fut donnée :

Le nu des tôles constituant le tympan dans lequel est percé l'œil de bœuf est formé de deux lames de tôle *e*, *f* à recouvrement (fig. 6, coupe E). Ces lames sont rivées avec une petite épaisseur de tôle au droit des rivets. La partie de recouvrement de la tôle *e* peut être serrée sur la tôle *f* à l'aide d'une série de boulons dont les écrous extérieurs posent sur des rondelles de plomb. Il suffit alors de glisser sous la tôle *e* une bande de solin en zinc venant recouvrir le relief des tuiles pour assurer l'étanchéité parfaite de la couverture.

Ce système, qui a été appliqué pour tous les tympans où la tôle ne joue qu'un rôle de remplissage, cessait d'être applicable au droit des cornières de renfort du pied-droit des grandes fermes. Cet endroit est l'un des plus délicats de la couverture, parce que le tuyau de descente H qui reçoit les eaux d'une travée entière est fixé sur ce pied-droit, et en cas d'engorgement, un débordement peut se produire. Voici la solution pratiquée :

Les nervures du pied-droit sont contournées par une pièce de fonte formant une sorte de solin continu avec pente et coupe-larme. Ce solin, qui est solidement fixé à l'ossature par des boulons, porte à sa partie supérieure une petite rainure d'un centimètre carré de section environ, dans laquelle on coule et on mate du plomb ; ce qui produit une obturation absolue. A la partie inférieure de la pièce de tôle est ménagée une feuillure qui vient coiffer la garniture en bois et la feuille de zinc *g*, formant cul-de-sac de chéneau.

Ce solin en fonte vient se raccorder à ses deux extrémités à la bande de solin en zinc. La ligne de suture de la façade avec la couverture ne présente ainsi aucune solution de continuité.

Vestibule central du Palais des Machines. — Ce vestibule est couvert en zinc, plomb et verre. La coupole vitrée R se termine par un chemin circulaire en zinc. Dans la banquette de ce chéneau sont ménagées une série de trappes qui servent au passage des ouvriers chargés du service électrique pour l'éclairage du plafond lumineux, placé sous la coupole. Les pendentifs de la coupole sont revêtus de feuilles de plomb de $1^{mm},5$ d'épaisseur.

Les deux grandes voussures qui accompagnent la coupole sont également revêtues de plomb de même épaisseur. Ce plomb est couché et battu par grandes

feuilles d'un seul tenant en forme de trapèze de $6^m,40$ de développement ; $1^m,60$ à la petite base et $1^m,90$ à la grande. Chacune de ces feuilles pèse 190 kilogr.

Elles se superposent à l'aide d'un double recouvrement au droit des tasseaux en bois qui forment les nervures de la surface courbe.

Les planches 15, 16, 17, 18 donnent le détail des zincs ornés qui forment l'acrotère des pignons de la grande nef et celui des bas côtés.

L'acrotère de la grande nef se compose d'une série de motifs représentant les principaux outils de l'industrie moderne. Ces motifs ont été exécutés par M. Coutelier.

La surface de la couverture en zinc est de 23.700 mètres carrés, celle des ardoises en losange des bas côtés de 15.400 mètres carrés. La surface de couverture en plomb est d'environ 1.000 mètres carrés. Ces surfaces donnent un poids de zinc de 258 tonnes et de 32 tonnes de plomb.

L'entreprise de couverture du Palais des Machines a été adjugée à la maison J. Robin, fils.

Commencés en août 1888, les travaux ont été terminés en avril 1889. Ces travaux ont suivi pas à pas les travaux de charpente et la mise hors l'eau s'est faite partout aussitôt le chevronnage terminé.

La moyenne des ouvriers employés sur le chantier a été d'environ soixante hommes.

Le rôle joué par le fer dans la construction de la Galerie des Machines est considérable ; mais celui du verre, pour être moins important, ne présente pas pour cela un moindre intérêt. Le verre en effet, non-seulement complète au Palais de MM. Contamin et Dutert, la couverture de la grande nef, en formant un immense plafond lumineux, mais encore il a été employé à la clôture des surfaces verticales des deux pignons, ainsi que de toutes les baies des façades latérales.

Comble vitré de la grande nef. — Sur les dix-neuf travées déterminées par les vingt grandes fermes, dix-sept seulement sont vitrées ; les deux autres, celles de tête, adjacentes aux pignons, sont pleines.

La Compagnie de Saint-Gobain a fourni des feuilles de verre de 5 millimètres d'épaisseur. Ce sont de grandes dalles coulées et striées sur l'une de leurs faces, leurs dimensions varient entre $1^m,90$ et 2 mètres, pour la longueur sur une largeur uniforme de 506 millimètres. La travée centrale fait seule exception à ces dimensions ; sa division est un peu différente des autres, et la largeur des feuilles est réduite à 486 millimètres. Ces verres, essayés lors de leur réception, ont satisfait aux conditions de résistance suivantes :

Des échantillons de $0^m,50 \times 0^m,50$, serrés entre des bandes de caoutchouc sur deux côtés, furent soumis au choc de balles de plomb tombant de hauteurs variables. Sur vingt essais différents, toutes les feuilles résistèrent à la chute d'une

balle de plomb du poids de 5 grammes, et tombant de 7 mètres de hauteur ; quelques-unes, mais moins de la moitié, se brisèrent sous le poids d'une balle de plomb du poids de 7 grammes, en tombant également de 7 mètres de hauteur.

Ces conditions de résistance étaient conformes à celles imposées par le cahier des charges.

Nous donnons (fig. 11) le détail de l'ajustement des fers à vitrage supportant ces feuilles. Ils sont constitués par des petits fers F, à simple T, rivés à froid sur des pannes P formées par l'assemblage d'un fer en U et d'une cornière Q ; l'extrémité supérieure A du fer, porte sur la cornière ; l'extrémité inférieure B porte sur l'aile du fer en U.

Il résulte de cette disposition, que chaque lame est indépendante de la suivante et est séparée d'elle par un ressaut de 8 centimètres de haut. Les verres ont été posés sur un lit de mastic avec fort solin sur trois côtés, le quatrième côté de la feuille est coupé au diamant en arc de 3 centimètres de flèche, pour ramener les gouttes d'eau au centre des lames ; trois goupilles en bois dur, noyées dans le solin de chaque côté des feuilles, assurent celles-ci contre tout soulèvement ; le jeu existant entre l'âme des fers et les bords des verres est de 4 millimètres. Le mastic est composé de craie ou blanc de Meudon et d'huile de lin cuite ; il est recouvert après la pose de deux couches de peinture.

Les extrémités des fers à vitrage sont munies de deux en deux de petits supports en tôle sur lesquels sont rivées des cornières formant lisses pour la pose des échelles lors des réparations. On voit dans la figure que les lames de verre portant sur l'aile du fer F, laissent entre leur face inférieure et l'aile de la panne P un petit espace encore augmenté par l'épaisseur du lit de mastic. Cet isolement, dont la largeur est au minimum de 10 millimètres, a une double utilité. Il permet d'abord aux gouttes d'eau de condensation qui peuvent se déposer sur les faces inférieures des lames, de s'écouler directement au dehors, en glissant par capillarité sur les stries des verres ; il forme en outre une petite fenêtre mince et allongée qui contribue à l'évacuation de l'air de l'édifice ; cette série d'ouvertures se répétant pour chaque feuille représente, pour tout le comble, un orifice d'une section totale de 160 mètres carrés.

Au moyen de cette disposition, il devait se produire en réalité une véritable ventilation permanente par diffusion sur toute la superficie du comble. Cette ventilation devait être complètement à l'abri de la pluie, car elle est protégée même lors d'un vent violent, par le débord de la feuille et la hauteur du ressaut AB. Le renouvellement de l'air est d'ailleurs assuré d'autre part, par tout un système de châssis ouvrants, trappes, œils-de-bœufs et fenêtres permettant de faire varier l'évacuation de l'air selon les besoins de la température extérieure.

Echafaudage et pose. — La superficie totale du comble vitré de la grande nef est d'environ 34.700 mètres carrés. Les travaux de pose d'une pareille surface

de verre, à une hauteur au-dessus du sol variant entre 30 et 47 mètres présentaient de grandes difficultés.

Des échafaudages prenant leurs points d'appui sur le sol eussent été très dispendieux. Il n'y avait qu'une solution, c'était d'établir des échafaudages légers, mobiles et de les accrocher à l'ossature métallique du Palais. On adopta la disposition suivante :

Une série de doubles crochets G, (fig. 12) portant deux traverses horizontales en fer, venaient s'agrafer sur les pannes à vitrage en passant par dessus l'aile supérieure du fer en U. L'aile inférieure de ce fer venant buter sur la tige du crochet le maintenait rigide et aucune oscillation n'était possible. Un certain nombre de planchers H, portant des tasseaux à leurs extrémités, venaient s'appuyer alternativement sur la traverse haute et sur la traverse basse, réunissant les tiges verticales des crochets. L'ensemble formait une série de gradins sur chacun desquels pouvait travailler un vitrier. Les fers à vitrage, espacés de $0^m,50$, constituaient deux garde-fous parfaitement solides préservant les ouvriers. De grands filets K, tendus au dessous des gradins complétaient la garantie.

Pour pouvoir se transporter facilement d'un point à un autre de cet échafaudage, on avait établi un chemin de service formé de planches à tasseaux L, simplement posées sur les lisses et suivant le rampant du comble. Un autre chemin transversal M, formé également de planches posées et liées sur les fers à vitrage, réunissaient le chemin de service L à la plate-forme de montage N.

Cette plate-forme, placée à peu près au centre de la travée à couvrir, portait une petite bigue à poulie sur laquelle passait une corde mue par un treuil placé en bas sur le sol. Au moyen de cet outillage, on montait les feuilles de verre et les baquets de mastic.

On attaquait la pose, par bandes de verre parallèles aux grandes fermes en commençant chaque bande par le verre le plus bas. Lorsqu'une bande de verre était terminée, on déplaçait l'échafaudage volant pour passer à la bande suivante. Pour effectuer commodément cette manœuvre, les gradins et les planches du chemin de service étaient doubles, de telle sorte que, placés entre les fers à vitrage sur la deuxième série de gradins, les ouvriers pouvaient décrocher la première série, dont ils venaient de faire usage, pour la transporter immédiatement derrière eux.

Ainsi pour suivre la manœuvre, reportons-nous au plan et soit V une bande de verre qui vient d'être posée. Un ouvrier, placé sur le gradin H_2, prendra le gradin H_2 et le fera passer en H_1' ; de même, un autre ouvrier placé sur la planche L_2, prendra la planche L_1 et la fera passer en L'_1, et ainsi de suite.

Chaque trouée de vitrage, entre deux grandes fermes, se composait de huit grands rectangles limités par les grandes pannes à treillis. Le travail était divisé en quatre parties comprenant chacune deux entre-deux de pannes. Quatre équipes de dix hommes desservaient chacune de ces parties. Chaque équipe comprenait sept vitriers travaillant sur le comble et de trois manœuvres travaillant sur le

sol, affectés au treuil et à l'élévation du verre et du mastic. Le temps employé pour la pose, fut très irrégulier, selon l'état de l'atmosphère. Lorsque le temps était beau, les équipes posaient par jour jusqu'à cinq cents feuilles de verre. Commencé au milieu de juillet 1888, le travail de vitrerie, souvent interrompu par la pluie ou l'humidité, fut achevé vers la fin d'octobre de la même année sauf quelques raccords. Ce travail de pose avait été adjugé à M. Menu Gallet, entrepreneur de vitrerie.

Les verres expédiés de Saint-Gobain, arrivaient par wagons sur le chantier et étaient mis en dépôt sur des chevalets-portoirs, après examen contradictoire entre l'entrepreneur de pose, les agents de l'Administration et le représentant de la manufacture. De là, ils étaient transportés sur brancard jusqu'au treuil de montage.

Vitrerie des surfaces verticales. — Pour les grandes baies verticales, les verres étaient blancs, demi-doubles, de troisième choix, entourés d'une bande de verre teintés. Ils s'appliquaient dans les feuillures avec un jeu de quatre millimètres, et étaient posés avec lit et solin de mastic. Cette partie du travail qui a été effectuée au moyen d'échafaudages volants à moufles, n'a pas présenté, sauf les grandes dimensions de difficultés sérieuses.

La surface totale des verrières verticales du Palais des Machines, y compris les grands pignons d'extrémité s'élève à 14.500 mètres carrés.

Vitrerie des pignons ou des verrières d'extrémités. — Les verres des pignons sont entièrement teintés. L'ossature métallique du pignon, côté de l'Avenue de Labourdonnais, comporte une grande rosace en vitraux, formée des écussons des principales puissances. La pl. 17, 18 donne un fragment de cette rosace dont l'effet décoratif est saisissant. Le fond de la verrière est jaune pâle ; les bandes circulaires sont jaunes plus foncé ; les croissants et les lances sont bleu pâle ; les petits cercles et losanges sont rouges ; les carrés des bandes circulaires sont bleu foncé.

Les écussons sont en verres colorés, sertis de plomb ; ils ont été exécutés par M. Néret.

Le pignon, du côté de l'Avenue Suffren est orné par une série de vitraux représentant la *bataille de Bouvines*. Ces vitraux appartiennent à un exposant, M. Champigneule, de Bar-le-Duc.

La baie médiane, faisant face à l'École Militaire est ornée par un vitrail représentant le *Char du Soleil*. Ce vitrail a été exécuté par M. Lorin, exposant.

Peinture. — Les constructeurs qui avaient soumissionné à la construction métallique du Palais des Machines, étaient tenus par le cahier des charges de

livrer leurs fers peints à trois couches dans le ton désigné par l'architecte. Voici le dosage adopté et communiqué aux divers entrepreneurs :

Céruse	2	kilog.
Ocre rouge	45	grammes
Ocre jaune	155	—
Huile	800	—
Essence	400	—

Les pièces métalliques arrivaient de l'usine ayant reçu une couche de minium de plomb. Les raccords de tête de rivets étaient faits au fur et à mesure sur les échafaudages. Les grandes fermes, étant assez larges pour le passage des ouvriers, purent recevoir facilement les deux autres couches de peinture.

Pour les petites pannes et les chevrons, la troisième couche devait être appliquée après la pose du vitrage. Ce travail minutieux fut confié à un entrepreneur spécial (maison Rondeau et Sciaiffe) qui fut chargé en même temps du dépolissage des verres de la grande nef. Ce dépolissage a été obtenu par l'application d'une composition formée de lait pur et de blanc de Meudon.

Pour arriver à passer cette couche de peinture au lait, ainsi que pour réchampir les petits fers à vitrage, on fit usage d'échafaudages fumiculaires qui étaient formés de plateaux ayant la longueur des chevrons compris entre deux grandes pannes. Ces échafaudages, inclinés, suivaient l'inclinaison du comble et pouvaient se mouvoir parallèlement aux grandes fermes au moyen de poulies roulant sur trois câbles d'acier tendus parallèlement aux pannes. Ces câbles d'acier s'accrochaient aux membrures supérieures des fermes, et leur rigidité était obtenue par des tendeurs à vis. Le mouvement de va-et-vient était donné par les ouvriers eux-mêmes au moyen d'un jeu de câbles.

Ce système donna de bons résultats, et l'exécution du travail fut très rapide, chaque travée n'exigeant, par un temps favorable, que deux jours pour être achevée. Le nombre de plateaux par travée était de six.

Éléments décoratifs auxiliaires du fer

Décoration intérieure. — Toiles peintes et Staffs. — Une des conditions essentilles de la construction du Palais des Machines était d'exécuter les travaux dans un délai très court. Cette circonstance amena l'architecte à employer des toiles peintes à la colle pour décorer les parties pleines des plafonds de la grande

nef. Ce procédé a en effet l'avantage de permettre de préparer à l'avance de grandes surfaces décorées dont la mise en place est rapide.

Chaque travée courante de plafond, comprise entre deux fermes consécutives du Palais des Machines est divisée en quatre panneaux par les grands chevrons en fer de la travée.

La décoration adoptée consiste en grandes cartouches encadrant les écussons des principales villes de France ou des Etats étrangers. Un motif composé des produits principaux de ces villes ou de ces Etats est placé au-dessous du cartouche qu'il accompagne.

De plus, dans les travées extrêmes et dans les trois travées du centre, de grands écussons en relief, accompagnés d'ornements en staff, complètent l'ensemble de cette décoration.

Médaillons décoratifs du Palais des Machines. — Les planches 19-20 représentent l'écusson ou le médaillon qui forme la décoration du plafond de la travée centrale du Palais (côté de l'Ecole Militaire) avec la mention *Paris.*

Il y a un médaillon analogue du côté opposé à l'Ecole Militaire et quatre autres médaillons dans quatre angles extrêmes du Palais, appliqués aux plafonds des travées pleines d'extrémités.

Les travées courantes comprennent chacune quatre panneaux décoratifs avec les mentions des localités dont ils sont les emblêmes.

L'entreprise de toutes ces peintures a été confiée aux décorateurs MM. Rubé, Chaperon et Jambon. C'est M. Marcel Jambon qui a dirigé le travail dans les ateliers improvisés au Champs de Mars et qui a exécuté, avec beaucoup d'habileté, les motifs principaux des panneaux.

La superficie totale des toiles peintes et peintures s'élève pour la grande nef, 17,000 mètres carrés.

Les staffs ont été modelés et exécutés par M. Jules Martin, sculpteur.

Décoration extérieure. — Céramique. — Staff. — Mosaïque de briques. — La céramique se réduit à un grand panneau de faïence portant au-dessus de la porte d'entrée (côté de Labourdonnais) le nom du monument : *Palais des Machines* (voir pl. 17-18). Un rinceau formant encadrement et une grande branche de laurier traversant l'inscription en forment tout l'ornement. Ce panneau a été exécuté par M. Mortreux.

Les staffs des grandes façades d'extrémités ont été modelés par M. Thiébault, sculpteur. Ces staffs sont peints au vernis.

Les façades latérales sont ornées de mosaïques de briques formant remplissage entre l'ossature en fer et les baies vitrées.

Ces mosaïques sont obtenus au moyen de briques blanches (*Société des briques et pierres blanches, J. Hignette*, directeur). Ce produit est remarquable

par le ton et la qualité de la matière. Il est obtenu par la compression et la cuisson à une haute température des sables usés des fabriques de glaces. L'élément agglomérant des grains de sable est formé par la poudre impalpable de verre provenant du polissage et qui subit au four un commencement de fusion.

La fig. 13 donne deux croquis représentant : le premier le soubassement, où le dessin se détache en blanc sur fond rouge ; le second représentant la cloison du premier étage où, inversement, le motif décoratif se détache en rouge sur fond blanc.

L'opposition bien nette entre le ton des matériaux blancs et rouges donne beaucoup de franchise au dessin de ces mosaïques.

Grand escalier du Palais des Machines, côté Avenue Suffren (pl. 11 et 12). — Le dessin est une vue perspective intérieure de l'extrémité de la grande nef *(côté de l'Avenue de Suffren)*.

On y voit, au dernier plan, la grande verrière d'extrémité, superbement décorée par des vitraux représentant la bataille de Bouvines.

Au premier plan, est le grand escalier d'extrémité, ou plus exactement, les deux escaliers qui conduisent au premier étage dans la galerie de tête, faisant partie de la galerie périsphérique intérieure du Palais.

Ces escaliers très simples méritent d'attirer l'attention à cause de leur simplicité même. Chacun d'eux est formé de deux limons métalliques composé d'une tôle verticale et de quatre cornières. Sa largeur est d'environ de $4^{m},50$. Les marches en bois de sapin sont portées par leurs extrémités sur les deux limons et au milieu de leur longueur par une petite poutre formée, comme les limons, d'une tôle verticale rivée à quatre cornières.

Une lisse en bois recouvre la rampe de l'escalier.

Les piliers, portant les limons, sont faits avec quatre cornières rivées à deux tôles verticales servant d'âmes.

Les montants de la rampe ainsi que les ornements des panneaux de cette rampe sont constitués avec des petits fers en U (*voir le détail de l'escalier*, pl. 11 et 12).

Cette construction présente à la fois de l'originalité, une grande solidité et aussi au point de vue décoratif un bon effet de relief. La main courante est en bois.

Il faut aussi citer les lampadaires électriques placés à gauche et à droite de chacun des deux escaliers et reliés à ces derniers. Ces lampadaires métalliques sont entièrement constitués par des fers à nervures et des fers profilés. Les futs ou piliers de ces lampadaires, ainsi que le montre le détail (pl. 11 et 12), sont constitués au moyen de deux tôles verticales rivées à quatre cornières. L'ornementation représentant des fleurs, au milieu desquelles sont distribuées les lampes électriques sont d'un bel effet.

Ces constructions auxiliaires, escaliers et lampadaires offrent des exemples très

intéressants de l'emploi du métal, approprié à l'ossature proprement dite d'une construction et aussi à sa décoration qui peut être comme ici extrêmement originale.

Vue d'ensemble du Palais prise de l'Ascenseur Edoux (pl. 13-14).— Cette planche donne l'aspect général de l'intérieur de la grande nef.

Le dessin accuse fortement la forme en ogive surbaissée des fermes s'arcboutant à leurs sommets.

La division des grandes fermes en grands et petits panneaux rectangulaires alternés et consolidés par leurs diagonales, montre le parti que l'architecte a su tirer d'une combinaison simple pour rompre la monotonie qui serait résultée d'une division en panneaux égaux.

Le dessin montre que les entretoises verticales ajourées des fermes sont comprises dans la hauteur même de ces fermes.

Enfin, cette perspective donne en même temps la distribution générale de la surface considérable du plan de la grande nef, distribution consistant dans l'adoption de quatre lignes parallèles d'arbres de couche pour les machines en mouvement. Les machines sont réparties dans les cinq intervalles qui résultent des quatre lignes d'arbres parallèles.

Galerie latérale du premier étage. — Pied-droit d'une ferme (pl. 15 et 16).— Ces planches donnent la vue perspective d'une des deux galeries latérales de 15 mètres de largeur, situées au premier étage et longeant la grande nef.

Le dessin également montre sur la gauche une amorce de la grande nef avec raccord du plafond de la galerie latérale. La galerie latérale est formée par une série de poutres courbes ajourées, très surbaissées, situées dans les plans mêmes des fermes de la grande nef. Ces poutres forment ainsi des contre-forts qui contribuent d'une manière très efficace à la stabilité générale de l'édifice.

Sur la gauche de la figure, est une balustrade métallique, formée de montants verticaux en fer à cornière, laissant entre eux des panneaux à treillis. Cette balustrade est recouverte d'une large lisse en bois.

Le dessin donne la disposition générale de l'aménagement de cette galerie, obtenu au moyen de cloisons à claire-voie, rendant distinctes les unes des autres les expositions des divers industriels.

Nous donnons aussi un détail du pied-droit d'une grande ferme. Il montre la rotule inférieure du pied de la ferme, placée au niveau même du sol.

Comme on le sait, cette rotule a pour fonction d'assurer que les points de passage des pressions de la ferme seront sur l'axe même de cette rotule.

Les dimensions considérables des éléments métalliques, qui constituent la grande ferme, sont rendues sensibles par le personnage figuré à droite, pouvant servir d'échelle de comparaison.

Façade principale du Palais des Machines (côté de l'avenue de Labourdonnais), (pl. 17-18). — Cette planche donne l'ensemble de cette façade, très remarquable par son ampleur et sa décoration artistique.

A sa partie supérieure, la ferme de tête, laissée en partie en saillie sur le plan général du pignon, accentue, comme il convient, la forme en ogive surbaissée, adoptée pour les fermes du Palais.

Les grandes divisions extérieures du vitrail et la grande hauteur du soubassement sont bien appropriées aux grandes dimensions de la façade. Toutes les grandes surfaces ont reçu des décorations en harmonie avec l'ensemble et font de cette entrée une façade monumentale du Palais.

Au point de vue des détails, la décoration a fait des applications heureuses : telle est celle fournie par des instruments de travail, groupés autour de la grande baie, où sont figurés des étaux, des marteaux, des pinces, des clefs de serrage, un compas au sommet de l'arc.

Deux groupes de très grandes dimensions sont placés à gauche et à droite de la porte d'entrée. A gauche, la *Vapeur*, de M. *Chapuis*, sculpteur, symbolisée d'une manière vigoureuse : la Vapeur sort en effet furieuse au milieu de la fumée, et, au même instant, elle est enchaînée par le Travail qui sait s'en rendre maître.

A droite, un autre groupe de M. *Barrias*, sculpteur, figurant l'Électricité, est aussi une œuvre très remarquable. On y trouve aussi, comme symboles, la pile de Volta, la bobine de Runskorff, la foudre, etc.

En résumé tel qu'il est actuellement avec ses dimensions hardies, ses proportions harmonieuses et sa simplicité même, le Palais des Machines est actuellement l'un des monuments les plus remarquables du monde entier et son édification en faisant faire un pas immense aux constructions métalliques fait le plus grand honneur à ceux qui l'ont conçu et exécuté.

L.-A. Barré.

ÉCHAFAUDAGE DU PLAFOND

DE LA

SALLE DES FÊTES DU TROCADÉRO

Le Palais du Trocadéro, construit à l'occasion de l'Exposition de 1878, et bâti avec la rapidité que l'on sait, est trop connu de nos lecteurs pour que nous en donnions ici des descriptions détaillées, l'objet de cet ouvrage n'étant que de traiter des sujets d'actualité. Néanmoins, certains travaux de réfection y ont dû être faits, et, parmi ceux qui peuvent au plus haut degré intéresser nos lecteurs s'occupant d'architecture, il en est un certain nombre que nous pensons devoir leur donner avec détails.

Plusieurs d'entr'eux présentent, en effet, des solutions intéressantes et ingénieuses, à commencer par celui que nous allons décrire.

Nous aurons occasion d'ailleurs, surtout en ce qui concerne l'architecture, de donner plusieurs exemples de travaux de consolidation ou de réparations dont l'Exposition actuelle a été la cause.

Le 6 avril dernier, le Directeur des Beaux-Arts demandait à notre éminent collaborateur, M. Bourdais, architecte du Trocadéro, de réparer la voûte de la grande salle des Fêtes sans gêner en rien les représentations de gala ou les auditions musicales qui devaient avoir lieu dans cette salle à propos de l'Exposition universelle de 1889.

Cette voûte, en effet, se composant de panneaux de staff extrêmement minces (moins d'un centimètre d'épaisseur) suspendus à la charpente métallique formant l'ossature de cette voûte, avait eu à souffrir grandement de l'humidité, résultant de la condensation de la vapeur d'eau de l'atmosphère ou des produits de la respiration des spectateurs enfermés dans cette vaste salle.

Cette condensation est facile à expliquer : d'une part, par la température relativement basse de la voûte, constamment rafraîchie sur une face par les courants d'air extérieurs, et d'autre part, par le nombre considérable de spectateurs qui se trouvent à chaque cérémonie dans cet édifice. La salle, en effet, peut contenir jusqu'à 5,000 personnes, et n'a jamais été chauffée ; l'on conçoit que la quantité de vapeur d'eau produite par la respiration de toutes ces poitrines, venant

se condenser sur ces parois refroidies de la voûte, produisent un effet intense de détérioration, tant sur la peinture qui recouvre le staff que sur celui-ci.

Il faut reconnaître d'ailleurs que la partie charpente de la construction, grâce aux soins pris, n'a eu à souffrir en rien de cette humidité, et que les dégâts se sont bornés simplement aux motifs de décoration.

La difficulté même du problème consistait à faire cette réparation sans gêner en rien les nombreuses cérémonies qui se sont passées depuis au Trocadéro. L'architecte a su tirer parti habilement de la charpente métallique elle-même composant la voûte, pour y suspendre des échafaudages, qui ne prennent ainsi aucun point d'appui sur le sol.

Les figures ci-dessous feront comprendre notre description.

L'ossature métallique, dont la solidité était à toute épreuve, se compose principalement de douze arbalétriers en tôle et cornières, dont la section a environ un mètre de hauteur. D'après les dispositions mêmes, prises dans l'origine, le plafond était disposé de telle sorte que les tiges des lustres, qui serviraient à l'éclairage prévu de la salle, devaient passer par douze ouvertures ménagées dans la voûte. Il vint immédiatement à l'esprit de se servir de ces douze trous pour faire passer les tiges de suspension des échafaudages.

Mais la charge aurait été ainsi insuffisamment répartie et, pour plus de sécurité, on fit de nouvelles ouvertures au plafond, de façon à ce que le nombre des points d'attache fut doublé. Les ouvertures primitives étaient d'ailleurs assez éloignées des murs de pourtour, d'environ 10 mètres, ce qui confirma encore la résolution de doubler le nombre des tiges de suspension.

Les points d'attache étaient répartis sur deux circonférences concentriques et vu l'inégalité de distances qui séparait les points d'appui, les charges qu'ils devaient supporter étaient également différentes.

A la circonférence intérieure, les tiges de suspension subissaient une charge d'environ 3,000 kil. chacune. Ces tiges formées de fer méplat avaient une section de 120 millimètres de largeur sur 12 millimètres d'épaisseur.

A la circonférence extérieure, les tiges subissaient une charge d'environ 4,500 kil. chacune et également formées de fers méplats, elles présentaient une section de 150 millimètres de largeur sur 15 millimètres d'épaisseur.

Dans les deux cas le fer travaillait entre 2 et 3 kil. par millimètre carré, ce qui était une condition très suffisante de sécurité, étant donné d'ailleurs que les échafaudages ne supportaient que des charges statiques.

Ces tiges de suspension étaient attachées à l'ossature métallique par deux mâchoires reposant sur la semelle inférieure de l'arbalétrier.

Ces mâchoires portent à la partie inférieure une forte pièce de chêne sur laquelle 5 boulons de 18 millimètres de diamètre venaient fixer les tiges de suspension. L'effort de cisaillement de ces boulons et du chêne assemblé avec les tiges était donc très faible.

L'échafaudage suspendu ainsi par 24 tiges est composé de 12 bastaings en sapin de 17/6 centimètres. Ces bastaings sont moisés à la partie inférieure et à la partie supérieure par 4 moises, deux à deux, reliées entr'elles par des entretoises obliques et des montants verticaux. Ces derniers montants se prolongent au-delà des bastaings formant fermettes, et sont rendus solidaires les uns des autres par des traverses formant gradins.

Tous les assemblages sont faits au moyen de boulons.

Les fermettes sont supportées au premier et au troisième quart de leur longueur. A cause de leur disposition rayonnante, les pannes qu'elles supportent ont des portées différentes.

Les moins longues ont $6^{m}50$; elles sont composées simplement de deux bastaings ; les suivantes jusqu'à 8 mètres de longueur sont formées de même façon, mais sont consolidées par des pièces de décharge obliques. Ensuite jusqu'à la la panne de plus grande portée qui a $11^{m},50$ de longueur, elles sont formées de treillis en bois, suivant la forme dite « poutre américaine ».

Ce sont ces pannes qui supportent, avec les montants formant gradins, le plancher de l'échafaudage.

Il y a ainsi 4 gradins à chaque travée.

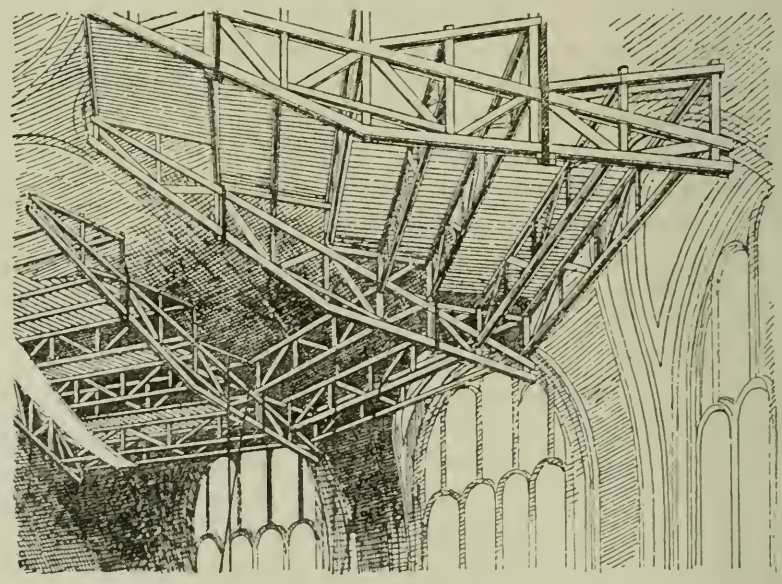


Fig.1.

L'une des principales difficultés relatives à cet échafaudage s'est présentée lors de sa mise en place.

D'après la conformation même de la salle, les gradins très inclinés et très nom-

breux qui la garnissent occupant la majeure partie de la surface, il était difficile sinon impossible d'assembler entièrement la charpente sur le plancher et de la monter ensuite toute assemblée à l'endroit même où elle devait se trouver placée.

De plus, cette manœuvre aurait nécessité un travail assez considérable comme force dépensée pour élever un pareil poids, et le nombre des hommes employés à cette manœuvre aurait été très considérable ; par suite ce procédé aurait été très coûteux, quoique simple.

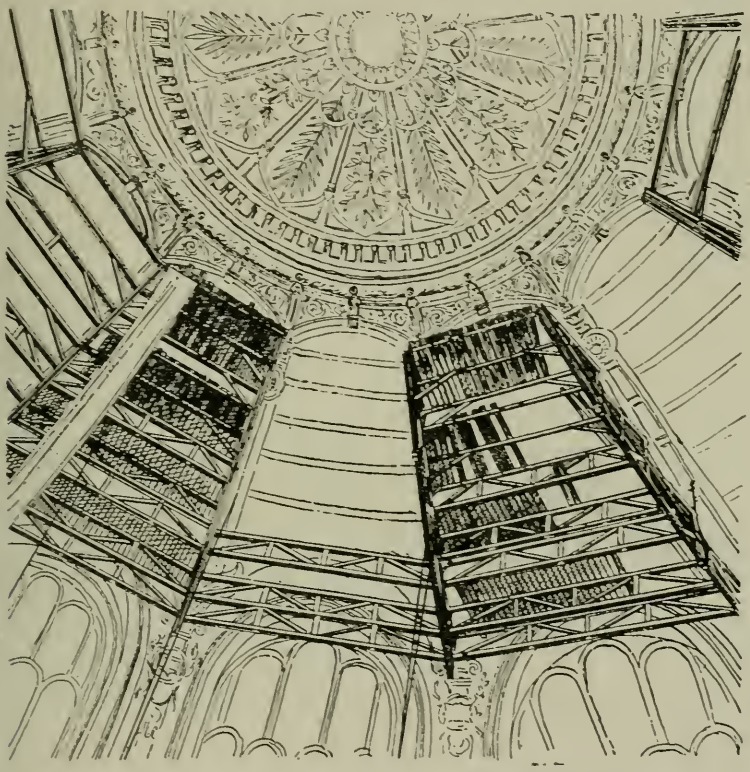


Fig. 2. — Vue du plafond et des échafaudages en montage.

En outre, il eût fallu monter cet échafaudage au centre. Comme le centre du plafond de la voûte est occupé par une rosace qui n'avait nullement besoin d'être restaurée, il a donc fallu de toute nécessité assembler à terre les différentes parties de la charpente par secteurs séparés, les monter en suivant un chemin oblique du centre du parquet au point du plafond qui leur était destiné, et ces différents secteurs une fois à hauteur, les assembler entr'eux et installer ensuite le plancher des gradins.

Ces diverses manœuvres très intéressantes ont été exécutées d'une façon heureuse par M. Bosc, l'entrepreneur chargé de ce travail.

Les différentes fermes étaient ajustées au chantier même et assemblées deux à deux avec les différentes pannes, au nombre de neuf, qu'elles devaient supporter. On constituait ainsi une série de six panneaux, qu'il a fallu monter en suivant un chemin oblique, comme nous l'avons montré précédemment. A cet effet, chaque panneau, composé comme ci-dessus, était enlevé au moyen de quatre palans fixés aux quatre tiges de suspension destinées à recevoir ce panneau. — Pour le guider dans son mouvement oblique, on y fixait également deux palans de guidage, ou palans de retenue, placés dans une direction opposée à celle des quatre premiers. Les points d'attache de ces palans étaient diamétralement opposés à ceux des quatre palans de levage.

La manœuvre, qui était assez difficile, vu le réglage qu'il y avait à faire sur l'action des hommes agissant aux palans, consistait à tirer le panneau obliquement au-dessus des gradins de la salle, et cela jusqu'à une hauteur suffisante pour les éviter complètement. — Quand le panneau était arrivé dans la verticale de la position qu'il devait ultérieurement occuper, les palans de retenue cessaient d'agir, et le montage continuait seulement avec les palans de levée.

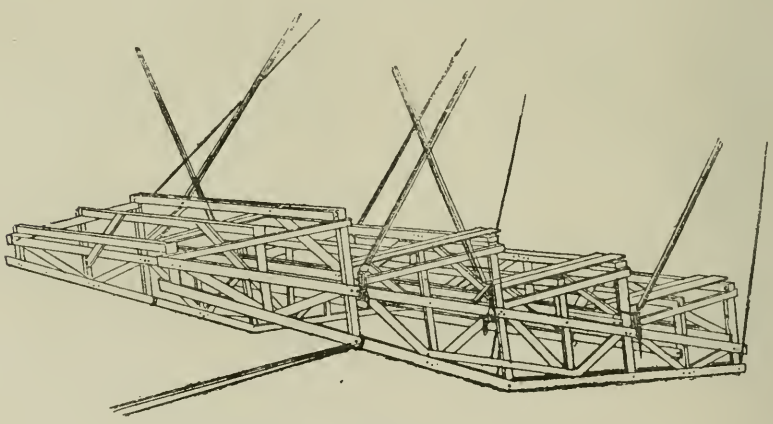


Fig. 3.

Toutes ces différentes manœuvres ont été exécutées avec précision et rapidité. La hauteur d'élévation des panneaux était de trente-cinq mètres, et la durée totale de la manœuvre pour chaque panneau était de trente-cinq minutes environ, ce qui correspond à une vitesse assez grande de levage pour des échafaudages de ce genre.

La charpente entière comprenait douze panneaux, que nous numéroterons de 1 à 12. On en montait six, ceux de rangs pairs par exemple, par le procédé que que nous venons d'indiquer, en ayant soin de les alterner de telle sorte qu'il suffisait, ces six panneaux une fois en place, d'amener les pannes correspondantes aux

vides laissés entre deux panneaux consécutifs, par une manœuvre analogue à celle précédemment décrite, de les placer sur les fermettes de deux de ces panneaux, et l'on constituait ainsi l'échafaudage en entier.

Une fois l'empannelage terminé, il a été facile de monter le plancher. Cette opération a été très vivement menée.

La condition imposée, de ne point gêner les auditions musicales qui ont eu lieu dans la salle des Fêtes, a donc été parfaitement remplie. Non seulement, cet échafaudage ne gêne en rien, mais il est peu d'auditeurs qui se doutent même de sa présence, et cependant l'échafaudage entier pèse environ quatre-vingt-dix tonnes, qui, suspendues au-dessus de leurs têtes, pouvaient leur donner quelque crainte, malgré cependant la sécurité que présentent les nombreux points de suspension.

Pour éviter ces inquiétudes, et surtout pour ne pas gâter l'aspect général de la salle, un grand velum de deux mille mètres carrés de surface a été tendu sous l'échafaudage et le masque entièrement.

Ce velum, en toile de jute imprimée dans des tons assortis à la décoration générale de la salle, a été monté d'une seule pièce.

Confectionné dans les ateliers des magasins du Louvre, avenue Rapp, il a été porté sur la plate-forme centrale de la salle des Fêtes, puis accroché aux extrémités intérieures des arbalétriers de l'ossature métallique.

On le monta au moyen de palans, puis le centre du velum arrivé à la partie supérieure, les bords ont été relevés et amenés aux douze autres extrémités extérieures des arbalétriers. L'échafaudage s'est ainsi trouvé complètement caché.

Les travaux de restauration qui viennent d'être entrepris consistent à augmenter l'épaisseur des stafs partout où ils sont encore en bon état et à refaire complètement ceux que l'humidité a détériorés.

Sous ces panneaux ainsi refaits, on place un lattis de bois d'environ deux centimètres d'épaisseur. Sur ce lattis on vient clouer deux sortes d'étoffes, choisies après des essais comparatifs avec plusieurs autres, comme présentant moins de chance au piquage des vers.

Ces deux étoffes sont du molleton de bourre de soie et du tissu très fort de bourre de soie. Elles forment une couche totale de près d'un centimètre d'épaisseur. Elles sont isolées des staffs par le lattis en bois, et la couche d'air interposée formera ainsi un plafond mauvais conducteur qui rendra toute condensation sinon impossible du moins difficile dont on pourra ainsi éviter les effets désastreux.

Il est néanmoins à souhaiter que le chauffage de cette salle soit définitivement chose faite.

Ce sera encore la meilleure méthode pour conserver la décoration intérieure de la salle des Fêtes du Trocadéro.

Ch. Vigreux.

L'ESCALIER DE LA SALLE DES CONGRÈS
AU TROCADÉRO

(Planche 25-26)

Comme l'échafaudage que nous venons de décrire, la construction de cet escalier a eu pour cause les travaux entrepris à l'occasion de l'Exposition de 1889.

Certaines conditions ont été imposées à l'architecte, comme pour le travail précédent, et le problème ainsi résolu présente des solutions particulières et intéressantes que nous devons signaler.

La salle des congrès est située directement au-dessus de la salle d'Ethnographie. — Pour y accéder, de cette salle, les conservateurs du Musée exigèrent de l'architecte qu'il occupât le moins de place possible, et ne lui accordèrent d'abord pour placer l'escalier qu'une surface excessivement restreinte, où l'on ne pouvait guère que loger un escalier à vis.

Cette solution n'aurait été ni élégante, ni commode pour les membres des divers congrès qui se sont réunis depuis au Trocadéro.

M. Bourdais demanda donc aux conservateurs du musée, outre cet emplacement, une petite surface d'environ 50 centimètres de côté où il pourrait prendre un point d'appui intermédiaire. Cela permit alors de construire un escalier à rampes droites avec paliers intermédiaires, d'un accès facile et d'une ascension commode.

Cet escalier, ainsi que le montre le dessin que nous en donnons (pl. 25 et 26), comporte trois paliers intermédiaires. Toutes les parties reliant ces paliers sont droites, les révolutions, aux changements de direction des rampants, se faisant sur les paliers intermédiaires.

La difficulté consistait à ne se servir que d'un point d'appui intermédiaire pour soutenir les paliers.

La solution adoptée consista à placer une solive encastrée dans le mur de refend de la salle d'Ethnographie, à la soutenir en son milieu par un poteau vertical placé sur la surface auxiliaire demandée par l'architecte, et, sur le prolongement en porte à faux de cette pièce, placer le palier intermédiaire.

Après avoir gravi cinq marches, on rencontre un premier palier d'où l'escalier repart, droit, pour arriver au palier intermédiaire dont nous venons de parler. Le palier qui suit ce dernier prend un point d'appui sur un potelet vertical posé au départ même de l'escalier et dans l'emplacement accordé primitivement. Le palier est supporté d'une façon identique au précédent ; le mode de construction a été le même.

Disons tout d'abord que l'escalier est construit complètement en bois, car un escalier en fer, dont la construction aurait été sans doute plus facile, ne s'harmonisait nullement avec la décoration de la salle. D'ailleurs, l'emploi judicieux

qui a été fait du bois, dans cette construction, en a rendu l'exécution peu coûteuse.

Nous ne dirons rien du premier palier venant presque au début de l'escalier, sa construction ne présentant rien de bien particulier.

Les paliers qui suivent sont, ainsi que nous l'avons dit, supportés par une pièce encastrée, et une partie de ces paliers est en porte à faux. Le moment de flexion, assez considérable, résultant de ce porte à faux, a conduit à prendre des pièces de dimensions assez hautes. Comme les pièces de bois du commerce ne présentaient pas d'assez grandes dimensions, on en juxtaposa deux que l'on assembla, comme le montre la fig. 2 des pl. 25 et 26. Cet assemblage est tel que les fibres du bois travaillent dans des conditions normales, et la fibre neutre se trouve voisine des surfaces d'assemblage.

Pour les assemblages des diverses parties du palier, ils se faisaient au moyen de boulons d'assez fortes dimensions, et disposés de façon à ne pas affamer les pièces, ce qui se serait présenté, par exemple, à l'endroit où le poteau supporte la solive encastrée et une pièce en porte à faux qui soutient les paliers dans le sens longitudinal.

Tous ces détails sont donnés sur les planches 25 et 26.

Les boulons d'ancrage encastrent solidement les solives dans le mur et maintiennent toutes les pièces de charpente composant les assemblages divers dont nous avons parlé.

Les formes nettement accusées de toutes les pièces de bois, entrant dans cette construction, contribuent à sa décoration.

L'écueil à éviter précisément, dans la décoration de cet escalier, était de le rendre lourd et massif, par suite des grandes dimensions de quelques-unes des pièces de charpente qui le composent.

Sans être léger, cet escalier est néanmoins bien en harmonie avec l'architecture du reste de la salle. Ses proportions, loin de nuire à l'aspect général, ainsi que cela aurait pu arriver, accusent davantage le mode robuste de construction des plafonds du musée. Les potelets et les rampes des diverses parties de l'escalier sont ornés de sculptures sur bois d'un bon effet.

Dans les travaux du genre de celui que nous venons de décrire, beaucoup d'architectes ont le tort, à notre sens, de vouloir dissimuler les constructions qui leur sont imposées après l'exécution d'une œuvre, sous le prétexte que ce sont en quelque sorte des « raccommodages, » des choses à cacher plutôt qu'à montrer au grand jour.

Plusieurs, au contraire, ont la franchise de leurs conceptions, et celles-ci ont tout à gagner à ce qu'on les accuse nettement et avec le style et le mode qui leur conviennent.

Le travail dont nous venons de parler est dans ce cas, et nous ne pouvons que féliciter son auteur du goût et du savoir qu'il y a apportés.

Ch. Vigreux.

LE DOME CENTRAL

ET LES

GALERIES INDUSTRIELLES

ARCHITECTE : M. BOUVARD.

Le Règlement général de l'Exposition universelle, se basant d'ailleurs sur les Expositions précédentes, a divisé les divers produits et objets exposés en un certain nombre de groupes que nous rappellerons ici :

GROUPE I. — Œuvres d'Art.

GROUPE II. — Éducation et Enseignement. — Matériel et procédés des Arts libéraux.

GROUPE III. — Mobilier et Accessoires.

GROUPE IV. — Tissus, Vêtements et Accessoires.

GROUPE V. — Industries extractives, produits bruts et ouvrés.

GROUPE VI. — Outillage et Procédés des industries mécaniques. — Électricité.

GROUPE VII. — Produits alimentaires.

GROUPE VIII. — Agriculture. — Viticulture et Pisciculture.

GROUPE IX. — Horticulture.

Chacun de ces neuf groupes reçut un emplacement spécial et judicieux. Aux deux premiers furent réservés les deux Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux dûs à M. Formigé, l'un des lauréats du Concours organisé pour l'Exposition et dont nous avons déjà parlé.

Le groupe VI, sauf les classes de l'Agriculture et de la Carrosserie, se trouve logé dans le Palais des Machines.

Les groupes VII, VIII et IX occupent les galeries du quai d'Orsay et le parc du Trocadéro.

Les groupes industriels proprement dits, III, IV et V, furent répartis dans le vaste espace compris entre les Palais des Arts et le Palais des Machines.

A ce genre de produits qui sont en quelque sorte la transition entre l'Art et l'Industrie, et pour ne pas les confondre dans une grande surface unique, un groupement bien méthodique et bien distinct s'imposait. De grands halls tels que ceux des Palais précités n'étaient pas à employer. Des fermes de portée moyenne mais suffisante, tout à la fois élégantes et simples, étaient ce qui convenait le mieux.

Dans cette sorte d'Arc de triomphe couché, ainsi que l'on a défini l'ensemble des Palais du Champ de Mars, tout l'espace compris entre les Palais des Arts et celui des Machines fut donc occupé par une série de galeries semblables formées par des fermes de 25 mètres de portée, débouchant sur un grand vestibule central qui aboutit à la Galerie des Machines.

Nous donnerons tout d'abord l'énumération des classes et des sections étrangères situées dans ce groupe qui a pris le nom de groupe des Galeries Industrielles.

Groupe III. — *Mobilier et Accessoires.*

Classe 17. — Meubles à bon marché et meubles de luxe.
» 18. — Ouvrages du tapissier et du décorateur.
» 19. — Cristaux, Verrerie et Vitraux.
» 20. — Céramique.
» 21. — Tapis, Tapisseries et autres étoffes d'Ameublement.
» 22. — Papiers peints.
» 23. — Coutellerie.
» 24. — Orfèvrerie.
» 25. — Bronzes d'art, Fontes diverses, Métaux repoussés.
» 26. — Horlogerie.
» 27. — Appareils et procédés de chauffage.
» 28. — Parfumerie.
» 29. — Maroquinerie, Tabletterie, Vannerie, Brosserie.

Groupe IV. — *Tissus, Vêtements et Accessoires.*

» 30. — Fils et tissus de coton.
» 31. — Fils et Tissus de lin, de Chanvre, etc.
» 32. — Fils et Tissus de laine peignée. — Fils et Tissus de laine cardée.
» 33. — Soies et Tissus de soie.
» 34. — Dentelles, Tulles, Broderies et Passementeries.
» 35. — Articles de Bonneterie et de Lingerie. — Objets accessoires du vêtement.

Classe 36. — Habillement des deux sexes.
» 37. — Joaillerie et Bijouterie.
38. — Armes portatives. — Chasse.
» 39. — Objets de Voyage et de Campement.
» 40. — Bimbeloterie.

GROUPE V. — *Industries extractives, produits bruts et ouvrés.*

Classe 41. — Produits de l'Exploitation des Mines et de la Métallurgie.
» 42. — Produits des Exploitations et des Industries forestières.
» 43. — Produits de la Chasse. — Produits, Engins et Instruments de pêche et de cueillettes.
» 44. — Produits agricoles non alimentaires.
» 45. — Produits chimiques et pharmaceutiques.
» 46. — Procédés chimiques de blanchîment, de teinture, d'impression et d'apprêt.
» 47. — Cuirs et Peaux.

A ces classes françaises s'ajoutent les sections étrangères suivantes, relatives aux mêmes produits exposés :

Grande-Bretagne.
Colonies Anglaises.
Belgique.
Pays-Bas.
Danemarck.
Autriche-Hongrie.
Italie.
Suisse.
États-Unis.
Russie.
Espagne.
Portugal.
Roumanie.
Norwège.
République de Saint-Marin.
Grèce.
Serbie.
Japon.
Siam.
Égypte.
Perse.

De ces fermes de 25 mètres, dont la construction au point de vue architectural ne présente rien de particulier, nous ne parlerons pas ici, les calculs et divers éléments concernant leur résistance et leur stabilité étant traitées dans la deuxième partie : LA CONSTRUCTION.

L'architecte de cette ensemble est M. Bouvard, du service de la Ville de Paris.

Le lot qui lui était échu semblait paraître peu prêter à la décoration. — Il n'en a rien été et, par d'autres procédés, il est vrai, que pour les autres Palais, la partie décorative a été là aussi, magistralement traitée.

Le grand vestibule dont nous avons parlé plus haut et qui débouche dans la Galerie des Machines est formé de fermes de 30 mètres de portée. Placé dans l'axe même du Champ de Mars, commençant sur la façade principale de l'Exposition parallèle à la Seine, ce vestibule devait en quelque sorte servir d'entrée monumentale aux galeries.

Cette idée a été conçue et réalisée avec un succès que l'on est unanime à reconnaître et le Dôme central qui occupe la clef de voûte de cet arc de triomphe gigantesque dont nous parlions plus haut, est l'un des monuments qui symbolisent le mieux la réunion de l'Art et de l'Industrie.

On a comparé ce dôme à Sainte-Sophie, au dôme de Parme, ... c'est là une erreur croyons-nous. — Il y a en effet dans cette construction de fer, ornée par les staffs, les terres cuites et les faïences, autrement de légèreté que dans les dômes en pierre et l'effet, pour être tout autre que celui produit par les monuments auxquels on la compare, n'en est pas moins saisissant de grandeur, de richesse et d'harmonie et montre bien l'avenir réservé aux constructions métalliques.

Finissons d'esquisser l'ensemble des travaux échus à M. Bouvard.

La planche 27-28 montre les dispositions d'ensemble et les groupements des différentes classes ou sections citées plus haut.

La transition entre le Palais des Arts et les sections industrielles se fait par des galeries somptueusement décorées bordées d'un haut mur en meulière sur lequel viennent s'appuyer les premières fermes des groupes réservés aux nations étrangères.

Cette transition un peu brusque se fait surtout remarquer par l'exiguité des portes qui font communiquer les galeries Rapp et Desaix avec les galeries Industrielles.

Les trois façades de cet ensemble qui donnent sur le parc du Champ de Mars, sont terminées par des demi-fermes en formes d'appentis, le faîte de ces demi-fermes formant la ligne supérieure même de ces façades.

Celles-ci abritent un certain nombre de restaurants et sont ornées d'une frise continue en staffs représentant, avec différents motifs de décorations, les armes et écussons des principales villes du monde.

Les galeries de 25 mètres sont dirigées suivant deux sens différents : l'un perpendiculaire à la Seine, là où sont les sections étrangères, l'autre qui lui est parallèle.

Pour raccorder ces deux groupes de galeries, il y a deux vestibules, formés de fermes de 15 mètres de portée et flanqués à leurs extrémités de pavillons carrés. — Ces pavillons forment avec le grand dôme central la façade d'entrée des groupes divers.

Nous allons maintenant examiner chacune de ces différentes parties :

Dôme central.

(Planche 29-30)

Tous les visiteurs de l'Exposition, et ils sont nombreux, qui au débouché du pont d'Iéna ont embrassé d'un coup d'œil le magnifique panorama que présente le Champ de Mars encadré par l'arche immense de la Tour Eiffel, ont pu admirer les proportions hardies de ce grand dôme. L'idée qui a présidé à son édification, et qui en fait le point central du Champ de Mars, a été si heureusement conçue que cette silhouette puissante, se dégageant de tous les Palais environnants, ne cesse d'attirer les regards par la richesse de sa décoration et par l'harmonie de son ensemble.

La forme en dôme devait être en effet celle choisie pour remplir le but que l'on se proposait. De chaque côté de ce dôme sont placés deux pavillons carrés semblables à ceux qui terminent les vestibules de 15 mètres raccordant les deux groupes de galeries. Comme toutes les constructions du Champ de Mars, le fer est le principal des matériaux employés. Cette ossature métallique dont la construction fut confiée à la maison Moisant, Laurent Savey et Cie, et dont les calculs de stabilité et de résistance furent établis sous le contrôle de notre savant collaborateur M. Contamin, fut une de celles dont le montage présenta des particularités intéressantes.

Les dimensions de ce dôme hémisphérique surmontant un fût cylindrique sont les suivantes :

Hauteur de l'ossature métallique 55 mètres; diamètre 30 mètres.

La coupole est formée de 8 demi-fermes principales et de 8 demi-fermes intermédiaires. Ces demi-fermes sont supportées par 8 piliers de 40 mètres de hauteur reliés entr'eux à des hauteurs différentes par 3 ceintures circulaires.

Les fermes intermédiaires reposent sur des arcs métalliques supportés par les 8 piliers. Les fermes principales sont le prolongement des piliers. Toutes les fermes s'appuient au sommet de la coupole sur la couronne métallique qui supporte « la France distribuant des palmes et des lauriers » statue de 9 mètres de hauteur, en zinc repoussé, œuvre de M. Coutelier, d'après le plâtre de M. Delaplanche.

Tout ce qui concerne l'ossature métallique, proprement dite, est donné dans la deuxième partie : La Construction.

Nous ne nous occupons ici que du montage et de la partie architecturale et décorative.

Décoration du Dôme central (pl. 21-22) (1).

Nous commencerons par parler de la décoration du Dôme Central tant extérieure qu'intérieure, mais il est difficile de séparer le Dôme Central de l'ensemble des galeries des expositions diverses et de la galerie centrale, parce que tout cela forme un tout, qui devait répondre à une harmonie générale et à des conditions très complexes d'aménagements intérieurs. A ce sujet, rappelons que le projet primitif du Palais des Industries diverses ne comportait qu'un porche d'entrée ; mais l'architecte, M. Bouvard, reconnut que ce porche serait insuffisant et qu'il fallait là un motif puissant pour appeler l'attention des visiteurs et surtout pour éviter que le Palais des Industries diverses ne fut effacé par les Palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux, situés à proximité.

Cette raison d'harmonie et cette nécessité artistique de pondérer les grands palais au point de vue de l'ensemble ont déterminé l'édification du Dôme Central qui, à lui seul, devait être un monument captivant l'admiration par ses dimensions exceptionnelles, par sa forme élégante et par sa décoration extérieure. Le but de l'architecte a été très heureusement atteint ainsi que nous l'avons dit ci-dessus et de plus, ce Dôme Central était pour les visiteurs non seulement un centre d'attraction, mais encore un fanal au milieu des nombreux palais du Champ de Mars.

L'effet produit a été grandiose.

La planche 21-22 peut donner une idée de l'effet architectural de la façade du Dôme Central. Ce qui la caractérise surtout, c'est la forme de l'encadrement du porche qui est comme une sorte de rideau de mise en scène précédant et accusant la galerie centrale de 30 mètres de largeur dans laquelle débouchaient les quatorzes galeries des industries diverses. Cette galerie centrale servait en même temps d'artère féérique conduisant au centre de la grande galerie des Machines.

Le chambranle des portes du rez-de-chaussée et la verrière du premier étage étaient accompagnés d'ornements et de cartouches représentant des emblêmes de l'industrie, du commerce et de l'agriculture. Ces éléments décoratifs en staff ont été exécutés par M. Devêche. Ils comprennent des Médaillons de M. Chrétien, dont les motifs sont empruntés aux sciences, aux arts, au commerce et à l'industrie. Le tympan de ce chambranle est orné par des guirlandes et par les écussons des principales villes de France, exécutés par M. Quillet. Les deux pylônes, à gauche et à droite du porche, présentent des panneaux et des couronnements ornés exécutés par M. Denis. Les deux têtes à la partie supérieure de ces pylônes : l'*Orient* et l'*Occident* sont de M. Vital-Dubray. A la partie inférieure de ces pilônes sont deux groupes symbolisant le *Commerce* (de M. Gautherin) et l'*Industrie* (de M. Gauthier). Le fronton présente aux naissances la

1. La façade du Dôme Central est représentée planche 21-22 et non planche 29-30.

Science et le *Progrès* (de M. Damé); au sommet, étaient échelonnés : la *Paix*, la *Concorde*, la *Force* et le *Vaisseau de la ville de Paris*, exécutés par M. Croisy.

Ainsi que le montre la planche 21-22, le dôme se raccorde avec les angles du porche au moyen de grandes consoles en fer, ornées de zincs estampés. Ces consoles sont surmontées de griffons exécutés par M. Rubin. Au-dessus des verrières, se trouvent des ornements en zinc, représentant des guirlandes et des têtes de lion, le tout formant le couronnement supérieur du dôme. Ce couronnement porte, comme il a été dit ci-dessus, une statue de 9 mètres de hauteur à la tête et aux ailes donnant une hauteur de $10^{m},80$.

Le point culminant de cette statue est à 175 mètres au-dessus du sol.

Les parties pleines du dôme sont couvertes de tuiles vernissées, de couleur jaune et brune, reposant sur un voligeage placé sur une garniture étanche de zinc qui avait pour objet de garantir des fuites pouvant résulter de la coubure de la coupole. Les diagonales de la couverture présentent des cabochons de la maison Muller, posés en losange et fixés par des boulons sur des pans de bois. Ces cabochons ne pèsent pas moins chacun de 450 kilogrammes. Les autres accessoires et ornements des toitures tels que arêtiers, crêtes, épis, amortissements, consoles, etc., sont en zinc estampé et ont été fournis par MM. Chenevière et Michelet.

Pour la partie vitrée, il était impossible d'avoir recours aux vitraux peints, à cause d'une excessive dépense. L'architecte a eu l'heureuse idée d'appliquer sur le vitrage blanc des papiers transparents simulant des dessins de vitraux.

L'éclairage de la coupole présente une innovation caractéristique : au lieu d'être pratiqué, comme à l'ordinaire, par une lanterne placée au sommet, l'éclairage se fait par la partie inférieure ajourée de la coupole, ménagée entre les nervures de la construction. Quant à la partie supérieure de la coupole, elle est restée pleine. Cette disposition nouvelle qui ne serait pas praticable avec la pierre devenait facile avec le fer. Elle offrait le moyen de faire pénétrer latéralement la lumière à l'intérieur de la coupole et de mettre en valeur sa décoration polychrome dont nous allons dire quelques mots.

A l'intérieur du Dôme Central, la décoration sculpturale est en staff ; elle comprend : au sommet des piliers (de 40 mètres de hauteurs dont il a été parlé) quatre motifs représentant l'*Europe*, l'*Afrique*, l'*Amérique* et l'*Océanie* de MM. Delhomme et Cordonnier. Les arcs de raccordement de ces piliers répondent à des motifs supportant des frontons cintrés et les figures symboliques des quatre agents de la force : l'*Air*, l'*Eau*, la *Vapeur* et l'*Electricité*, dus au talent de MM. Desbais, Plé, Bourgeois et Pécou. Dans le couronnement des baies d'accès du premier étage, on peut voir des têtes sculptées par M. Printemps, et des enroulements, consoles et guirlandes de MM. Ledru, Jolly, Trugard et aussi par l'Union syndicale des mouleurs et par celle des ornemanistes.

A part ces motifs de sculpture, les grandes surfaces intérieures du dôme étaient décorées par des peintures faites sur toile par par MM. Lavastre et Carpezat.

Le sommet de la coupole est muni d'une rosace en bois découpé, utilisé pour la ventilation. Autour de cette rosace se développe le drapeau tricolore flottant dans un ciel d'or ; il est enveloppé d'un rayonnement de flèches d'or qui descendent jusqu'à la base du dôme en se détachant sur un fond bleu et or, qui simule l'air et la lumière.

Les verrières peintes à effets de vitraux occupent la partie supérieure d'une frise d'ornements peints sur fond bleu. Les diagonales portent des emblèmes relatifs à l'Europe, à l'Asie, à l'Afrique et à l'Amérique. En contre-bas des verrières, se découpe sur les vitraux une ceinture portant les écussons des divers pays. Mais ce qui forme le motif principal de la décoration c'est une frise de 8 mètres de hauteur, contenant douze panneaux de figures peintes sur fond or, représentant les peuples du monde entier, invités à l'Exposition universelle de 1889. Au centre est la *France* regardant le porche d'entrée. Elle est appuyée sur la *Paix*, le *Progrès*, le *Travail* et la *Science* et convie les nations à ses pieds. Des *Génies* préparent des couronnes et l'*Histoire* écrit sur un papyrus les noms des lauréats ; le drapeau tricolore enveloppe la France en flottant dans l'espace. De part et d'autre du panneau central, les peuples du Nord, du Midi, de l'Est et de l'Ouest arrivent processionnellement, revêtus de leurs costumes nationaux, apportant leurs produits et conduisant leurs animaux. Ce défilé attachant compte 150 figures de 4 mètres de hauteur moyenne. A la partie inférieure, une bande d'inscriptions en lettres d'or sur fond de marbre explique l'ordre géographique de cette marche solennelle.

Eclairage du soir de la coupole au point de vue de la décoration. — Après avoir parlé des effets décoratifs que le Dôme Central produisait sous l'influence de la lumière tamisée du jour, rappelons les dispositions prises pour l'éclairage tant extérieur qu'intérieur du dôme. L'illumination était faite entièrement au gaz.

Le pied de la statue, surmontant la coupole, était garni de globes accusant nettement la partie demi-sphérique du dôme.

Le soir, la *France*, vivement éclairée, paraissait émerger d'une boule de feu. L'effet était saisissant. Les cordons de feu détachaient sur le ciel la silhouette harmonieuse du dôme.

A partir du sommet, à l'extérieur du dôme, des lignes horizontales formées de globes blancs marquaient les divers ressauts du dôme.

De gros globes blancs dessinaient la silhouette des antéfixes dont les sommets étaient accusés par des bouquets de globes blancs.

La crête du dôme présente de distance en distance des têtes de lion et de

lynx, qui étaient éclairées par douze soleils à verres jaunes, d'un ton doré. Au-dessus de ces soleils, étaient suspendues des guirlandes formées de deux rangées de globes.

Les verrières laissaient filtrer à l'extérieur la lumière intérieure du dôme.

Les frontons étaient garnis de rampes lumineuses, formées de globes blancs. Au sommet du grand fronton, étaient vivement éclairées les lettres *R. F.* encadrées de lauriers.

Au sommet des frontons des pavillons, il y avait des étoiles formées de petits globes jaunes. Les pylones étaient couronnés des lettres *R. F.* inscrites dans un cercle lumineux.

Le nombre de becs de gaz, éclairant le Dôme Central, était de 4.000. Tous ces becs étaient munis de moyens de réglage.

Sous le Dôme Central, on a posé un dallage en ciment présentant des dessins de coloration grise et rouge.

Galerie centrale de 30 mètres. — La Galerie centrale de 30 mètres desservait dans son parcours les quatorze galeries des Expositions en cotoyant leurs portes monumentales diverses.

Cette grande galerie partait du Dôme Central pour aboutir au milieu de la Galerie des Machines. La Galerie centrale était une artère de grande circulation, et à cet égard elle devait présenter les dimensions exceptionnelles et aussi une décoration recherchée Aussi l'architecte prit-il le parti de lui attribuer une grande hauteur (24 mètres sous clef) et une longueur de 167 mètres, motivée, du reste, par sa jonction avec les quatorze galeries d'exposition diverses.

L'aspect de cette galerie était grandiose : c'était comme on l'a dit judicieusement une sorte de rue de l'industrie.

L'ossature métallique de la Galerie centrale comprenait sept travées dont les fermes reposaient sur des piliers espacés de 25 mètres. L'espacement entre les piliers répondait à l'ouverture de 25 mètres des galeries des industries diverses, distribuées symétriquement à droite et à gauche de la Galerie centrale.

En tête des galeries de 25 mètres étaient des portes monumentales différentes, caractérisant chacune par son ornementation spéciale la classe industrielle correspondante.

La Galerie centrale de 30 mètres prenait jour par des verrières, placées à une grande hauteur entre le dessous des chénaux de cette galerie de 30 mètres et le faîtage des galeries contigües et perpendiculaires de 25 mètres des industries diverses.

Quant à la décoration de la grande artère de 30 mètres, elle se présentait sous un aspect qu'on s'était imposé d'être calme, afin de ne pas amoindrir la décoration des portes monumentales des galeries des industrielles. Les peintures des

faces latérales de ces portes ont été faites par M. Floury ; celles des tympans par MM. Amable et Gardy. MM. Dupuy et Bailly ont fait les ornements et sculptures en staff, appliqués sur les treillis des fermes. La planche 23-24 est une perspective générale du grand vestibule de 30 mètres.

Dispositions générales et décoration des galeries des expositions diverses. — D'après leur destination, les galeries des expositions diverses ne comportaient pas une unité dans la décoration dont la caractéristique devait être une surface considérable subdivisée autant que possible en sections appropriées à la diversité des nombreux objets que ces sections devaient recevoir. Il ne pouvait donc y avoir dans la décoration que de la diversité et non l'expression d'une préoccupation unique. Il faut reconnaître que l'architecte a mis à profit l'indépendance que lui laissaient ces conditions et qu'il a utilisé avec talent les divers matériaux que l'industrie pouvait mettre à sa disposition pour varier ses compositions. Il a agi tout en laissant aux galeries des expositions diverses une grande simplicité et en rejetant toute ornementation tapageuse qui aurait pu nuire aux effets variés et très décoratifs que l'on pouvait attendre des exposants eux-mêmes. Ces effets attendus n'ont d'ailleurs pas fait défaut, ainsi qu'il a été facile de le constater. Les Palais des expositions diverses devaient satisfaire, en outre, à des exigences multiples que l'on peut résumer ainsi :

Permettre une exécution rapide ;

Laisser toute latitude pour la répartition des emplacements entre les exposants ;

Faciliter, après la durée de l'Exposition, le réemploi et la revente des matériaux.

C'était là une condition d'économie de premier ordre, étant imposée une surface aussi grande que celle occupée par ces galeries.

Si l'on se reporte à la planche 25-26 et au croquis (page 93), on peut se rendre compte que le corps principal du Palais des industries diverses occupait le Champ de Mars sur presque toute sa largeur. Deux ailes, annexes dépendant de ce palais, s'avançaient vers la Seine. Ce palais comprenait deux groupes principaux, formés chacun de sept galeries de 25 mètres d'ouverture, toutes placées parallèlement à la Seine. L'un de ces groupes était à gauche du côté de l'avenue de La Bourdonnais ; l'autre était à droite du côté de l'avenue de Suffren. Ces deux groupes étaient séparés par la galerie centrale de 30 mètres d'ouverture. Dans le plan (page 93) des Galeries E, E', ayant également 25 mètres d'ouverture, étaient des annexes du Palais des industries diverses. En outre, des galeries de 15 mètres d'ouverture, vers la Seine, l'avenue de Suffren et l'avenue de La Bourdonnais formaient promenoir couvert et abritaient des établissements de consommation. La planche 25-26 est une vue de ces galeries extérieures. Elle peut donner une idée de l'effet de la décoration appropriée à ces passages extérieurs qui permettaient aux visiteurs de se reposer.

Pavillons de raccordement. — Quatre grands pavillons carrés de raccordement, figurés au plan (page 93), s'élevaient à la rencontre des galeries 15 mètres, placées en ailes, vers la Seine et les galeries parallèles à la Seine.

Ces pavillons de raccordement étaient décorés à l'intérieur par des peintures à la colle.

Le plan (page 93) montre que la Galerie centrale GG, de 30 mètres d'ouverture, aboutissait du côté de la Seine au Dôme Centrale et du côté de l'École militaire à un vestibule V recouvert d'une coupole de 25^{m},66 de diamètre. Ce vestibule servait d'entrée monumentale au Palais des Machines. Un escalier à double révolution reliait la Galerie centrale de 30 mètres au Palais des Machines. Ce vestibule, dont il a été question page 42, et dont nous reparlerons au point de vue de la construction, il comprend une coupole surbaissée, reposant sur quatre pendentifs. Nous rappelons que ce vestibule fait partie des travaux de M. Dutert, architecte de la Galerie des Machines.

Quant aux matériaux employés dans les palais des expositions industrielles diverses, c'était le fer pour l'ossature ; mais les remplissages étaient des matériaux économiques et décoratifs que l'industrie met aujourd'hui, à profusion, à la disposition des constructeurs et des architectes, tels que la brique ordinaire, la brique vernissée, les terres cuites, les ciments agglomérés, la faïence, la céramique, le bois, le zinc, le verre, le staff. Cette dernière matière remplace avantageusement la céramique et la terre cuite. Elle se moule sous toutes les formes avec une très grande facilité et elle prend telle coloration que l'on veut. Toutes ces propriétés en font une matière précieuse pour exécuter rapidement des ornements, des frises, des écussons, des bas-reliefs. Cette matière a rendu d'immenses services dans la décoration des palais de l'Exposition.

Les portiques qui entouraient les jardins et qui se développaient à droite et à gauche du Dôme Central aux galeries des expositions industrielles et dissimulaient en même temps les toitures. C'est cette circonstance qui motive la très grande hauteur de la frise portée sur des colonnettes en fonte. On est ainsi arrivé à dissimuler une vaste étendue de toiture en zinc.

La décoration du Palais des industries diverses est considérée comme une œuvre réussie eu égard à la destination de l'édifice, œuvre à laquelle ont pris part 18 statuaires, 16 sculpteurs d'ornement, 20 peintres décorateurs et 12 spécialistes.

Décoration des Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux. — Galeries Rapp et Desaix. — Pour achever d'analyser la décoration dans les grands palais de l'Exposition de 1889, nous allons rappeler les dispositions générales des Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux, ainsi que celles des Galeries Rapp et Desaix. Nous aurons ainsi les éléments nécessaires pour tirer des conséquences par rapport aux ressources qu'offrent les constructions métalliques

pour la décoration et pour étudier de quelle manière elles ont été comprises par les architectes de l'Exposition.

En se reportant au plan général (page 93), le Palais B des Beaux-Arts était à gauche et celui B' des Arts libéraux à droite. Ces deux palais érigés par M. Formigé, architecte, étaient contigus à ceux des Galeries industrielles.

Chacun de ces palais des arts comprend une nef de 209^{m},30 de long sur 53^{m},50 de large et entouré, sur tous côtés, d'une galerie de 15 mètres de largeur. Deux vestibules R (Galerie Rapp) et R' (Galerie Desaix) de 120 mètres de longueur et 30 mètres de largeur réunissaient ces palais à ceux des industries diverses.

Au milieu de la longueur de chacun des palais B et B' s'élève une coupole de 56 mètres de hauteur et de 30^{m},50 de diamètre rappelant par sa forme les coupoles des Persants, émaillées de tons blanc, bleu turquoise, jaune, et or.

Les entrées d'honneur, placées du côté du parc au milieu de la longueur de ces palais sont marquées par trois arcades en plein cintre. A gauche et à droite de ces entrées, se trouvent deux pylones couronnés chacun d'un attique orné de niches et de frises en terre cuite à fond d'or et d'émail.

Les deux palais, sans être identiques se ressemblaient beaucoup surtout extérieurement ; mais leurs destinations différentes commandaient une notable différence dans les installations intérieures et aussi des modifications dans la décoration extérieure.

L'ampleur des espaces à recouvrir sans le secours d'aucun point d'appui intermédiaire, la grande hauteur des palais et la brièveté du délai d'exécution, ces conditions complexes du programme imposaient l'emploi du métal. Aussi la nef centrale des deux palais est-elle constituée par des fermes en fer dont la forme est celle d'un berceau surbaissé au sommet. Au centre du palais s'élève, ainsi qu'il a été dit, une coupole qui rompt tout aussi bien la monotonie des toitures que l'uniformité des plafonds intérieurs.

Cette coupole donnait de la vie à la silhouette générale de l'édifice, et contrebalançait, dans une certaine mesure, l'effet d'écrasement qu'aurait pu produire la tour Eiffel sur des constructions à faible relief et à hauteur uniforme.

Au Palais des Arts libéraux, la coupole forme à l'intrados comme un immense dais où sont représentés les signes du zodiaque et les quatre points cardinaux.

De chaque côté de la coupole régnait, à l'intérieur de ce palais, un balcon placé en encorbellement au niveau du premier étage des galeries de 15 mètres ; aux deux extrémités de la grande nef, étaient des escaliers doubles conduisant par quatre montées aux galeries du premier étage et au balcon de la galerie Desaix.

Les pieds-droits, en arcades, sont décorés par quatre trophées en terre cuite, modelés par M. Michel, sculpteur, d'après une composition de M. Formigé. Deux

de ces trophées symbolisent la *Paix* et le *Travail* avec leurs attributs. Les deux autres trophées sont des proues de vaisseaux pavoisées et accompagnées de leurs agrès. Ces pièces remarquables ont été exécutées dans l'usine du regretté M. Émile Muller. On n'avait jamais produit en terre cuite d'aussi grandes pièces, et il faut reconnaître qu'elles ont exigé de très grands soins et une grande hardiesse d'exécution.

Les quatre tympans sont décorés par des médaillons à fond d'or et d'émail, avec des génies modelés par M. Allar. Les niches du couronnement, au-dessus des trois portes, sont occupées par des figures allégoriques : la *Photographie* (de M. Rodin); l'*Enseignement* (de M. Boisseau); l'*Imprimerie* (de M. Aubé). Les motifs des campanilles, surmontant les deux pylônes de la façade, sont une horloge et un baromètre.

Couverture de la coupole du Palais des Arts libéraux. — La décoration extérieure de la coupole est obtenue au moyen des tuiles de la couverture dont les dispositions rectilignes dessinent comme les points d'une tapisserie. La coupole est émaillée de tons blanc, bleu turquoise, jaune et or. Les arêtiers en faïence divisent le dôme en fuseaux.

Il est juste de noter, d'après M. Formigé lui-même, que les faïenciers modernes, dignes émules de leurs devanciers modernes, lui ont offert de précieuses ressources et une remarquable ingéniosité de procédés.

Pour faire apprécier la quantité de travail et de recherches motivées par la construction des dômes bleus des deux Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux, il suffit de rappeler qu'il a été fait 620 types de modèles de tuiles, variant d'un demi-millimètre dans leur petite dimension, répondant aux combinaisons de couleur exigées par les dessins de l'architecte. C'est après une centaine d'essais, qu'en juin 1888, M. Muller parvint à assortir les palettes des dômes, à la satisfaction de MM. Formigé et Bouvard. La livraison des tuiles devait commencer en septembre suivant.

Au sommet de chaque dôme, la couverture de la coupole est en verre, serti au moyen de nervures en cuivre repoussé et doré, et modelé en torsade. Ces nervures, se terminant par des dauphins, aboutissent à l'égout du vitrage.

Le poinçon de la charpente est constitué par une pomme de pin sortant d'un épanouissement de rinceaux en cuivre doré.

A droite et à gauche de l'entrée d'honneur, jusqu'aux pavillons des extrémités, s'étendent les travées courantes de la façade. Chaque travée est limitée par des piliers carrés dont le socle repose sur la maçonnerie. Ces mêmes piliers sont relevés à la hauteur de la frise par un arc métallique.

Une triple ceinture de fer et de terre relie les piliers en accusant l'appui du premier étage, et forme un cours de frises, de corniches et de balustrades. Au droit de chaque pilier, un amortissement en fonte reçoit la hampe d'une ban-

nière, aux couleurs alternativement françaises et étrangères, rappelant le caractère international de l'Exposition.

Les pavillons d'angle, du côté de la Seine, sont, comme le motif central, construits en maçonnerie, et revêtus de briques et de terres cuites. Ces pavillons sont couronnés d'une coupole bleue avec filets blancs transversaux, se recoupant en losange, pour former l'encadrement d'une ornementation en fleurettes blanches et rouges. Les deux petits dômes, établis à l'extrémité du Palais, présentent la forme d'une voûte en arc de cloître. L'un est couvert en faïence, l'autre en porcelaine. A l'autre extrémité, le Palais des Arts libéraux s'adossait contre la galerie Desaix, dont les pignons étaient flanqués de deux pylônes en maçonnerie, revêtue de briques.

Palais des Beaux-Arts. — Le Palais des Beaux-Arts était presque la reproduction du Palais des Arts libéraux.

La décoration extérieure des deux palais présente quelques différences. Ainsi, dans le Palais des Beaux-Arts, où des œuvres nombreuses de sculpture devaient être exposées, le visiteur ne devait pas rencontrer de décoration se rapportant à l'architecture. Aussi les trophées des pieds-droits du Palais des Arts libéraux furent-ils remplacés par des arabesques purement ornementales, en terre cuite, de ton naturel, exécutées par M. J. Loebnitz. Des médaillons, représentant la *Poésie*, la *Couleur*, la *Forme*, l'*Histoire*, sont dus à M. Roty, graveur statuaire. Les statues, placées dans les niches de la façade, représentent la *Sculpture*, de M. Thomas ; la *Peinture*, de M. Crauk ; l'*Architecture*, de M. Marqueste.

Sous la coupole du Palais des Beaux-Arts, se trouve un spacieux escalier donnant accès aux galeries du premier étage, où étaient exposés des chefs-d'œuvre de la peinture et de la sculpture.

A l'intérieur, le balcon de pourtour de la grande nef est supprimé.

Le rez-de-chaussée était divisé en deux salles, ainsi que les galeries de 15 mètres du premier étage.

Le vestibule Rapp était précédé d'un fort beau porche sur l'avenue de La Bourdonnais, lequel formait l'une des entrées principales de l'Exposition. Il présentait une arcade en tôle, ornée de panneaux en terre cuite, et deux pilônes, en maçonnerie de briques, se terminaient par des globes lumineux.

En examinant les dessins compris dans les planches 11 jusqu'à 26, se rapportant à la décoration, soit de la grande Galerie des Machines, soit du Dôme Central et des Galeries industrielles, on peut reconnaître que les constructions métalliques n'excluent pas la décoration que l'on peut produire de différentes manières, ainsi que nous allons le résumer.

L'EMPLOI DÉCORATIF DU FER DANS LES PALAIS DE L'EXPOSITION DE 1889.

Les nombreux types de constructions métalliques de l'Exposition de 1889 confirment non seulement que le métal donne une solution économique lorsqu'il s'agit de franchir de grands espaces ou de porter des charges considérables mais ces riches palais établissent que le fer peut aussi devenir un auxiliaire précieux dans la décoration de ce genre de construction.

Il y a peu d'années, il était admis, un peu gratuitement, il est vrai, que l'emploi du fer en grandes masses dans les édifices excluait toute décoration et que son emploi répondait exclusivement à des portées et à des hauteurs exceptionnelles, ou bien à des exigences de résistance, circonstances que l'on rencontre fréquemment dans la construction des ponts et des ouvrages du génie civil.

Les ingénieurs essayaient bien de réagir contre cette opinion quasi devenue un axiome ; mais il fallait des exemples aussi imposants que ceux des palais de l'Exposition de 1889 pour faire justice de ces appréciations préconçues et établir que le fer peut se prêter à exprimer par ses grandes lignes, la force, l'élégance, l'utilité et donner par ses détails et éléments de construction, l'impression d'une œuvre d'art.

Les nouvelles formes artistiques déjà pressenties dans quelques constructions de l'Exposition de 1878 et en particulier dans le pavillon de la Ville de Paris, transporté après l'Exposition de 1878 aux Champs-Élysées, se trouvent affirmées dans les palais de l'Exposition de 1889. En même temps, leur échelle est agrandie et très saisissante pour tout observateur.

Dans la Tour Eiffel, le métal réalise l'équilibre surprenant d'une masse considérable dont on a exagéré la hauteur. C'est un pylône géant à l'aspect émouvant qui, par ses proportions verticales insaisissables défie tout ce qui l'entoure.

Dans le Palais des Machines, le visiteur est également saisi par des dimensions inusitées : la hauteur de l'édifice et surtout par l'ouverture de 110 mètres de ses fermes. L'aspect général est grandiose et les conditions de l'harmonie générale des lignes sont satisfaisantes.

La décoration produite par la forme même de la ferme et par ses éléments constitutifs est fortement accusée et les effets sont obtenus par l'alternance de grands panneaux en croisillons et de plus petits panneaux, distribués dans les fermes depuis leurs pieds-droits jusqu'à leurs sommets.

Dans le Palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux, M. Formigé, architecte, a fait simultanément concourir à la construction et à la décoration le fer, la fonte et des matériaux colorés, tels que les terres cuites, les faïences, les grès, les briques, le staff. Aussi ces constructions réunissent-elles à la fois, la

solidité, l'élégance, la variété et produisent-elles en même temps, le charme et l'admiration des visiteurs.

Ces trois sortes de constructions : la Tour Eiffel, le Palais des Machines de M. Dutert et l'ensemble des Palais des Beaux-Arts, des Arts Libéraux et ceux des Industries diverses, tous érigés par M. Formigé, sont trois spécimens, trois expressions très distinctes, qui résument diverses manières de comprendre l'emploi du fer dans les constructions modernes.

A ce sujet, rappelons, en substance, ce qu'a écrit si judicieusement M. Eug. Hénard, architecte, dans le journal l'*Architecture*.

Le fer employé en grande masse apparente dans un édifice offre-t-il des ressources nouvelles à l'art, se prête-t-il à des effets décoratifs ? Suivant M. Hénard, on peut répartir en trois classes les différents modes d'emploi du fer dans les constructions modernes :

1° On peut se servir du métal en se préoccupant seulement des conditions de résistance et de sécurité, telles que le calcul les fournissent et en se contentant d'une décoration partielle rapportée après coup. C'est le cas de la Tour Eiffel où la question de stabilité est prépondérante et dans laquelle la décoration disparaît à côté des grandes lignes géométriques qui frappent l'observateur;

2° On peut chercher à étudier les conditions de résistance en satisfaisant aux exigences de l'économie et de la sécurité et, d'autre part, à faire en sorte que la forme de l'ossature soit un élément de décoration et produise avec le minimum d'auxiliaires décoratifs tout l'effet esthétique possible. Ce genre de construction est caractérisé par le Palais des Machines. C'est la construction métallique par excellence qui doit constituer l'art dans les constructions métalliques de l'avenir ;

3° Tout en considérant le fer comme l'ossature de l'édifice que l'on veut accuser franchement dans ses lignes principales, on combine, on associe le métal fer ou la fonte, avec d'autres matériaux, tels que la terre cuite, la faïence, la brique émaillée, le staff, le zinc repoussé. Dans cette sorte d'emploi du métal, on doit classer les Palais des Beaux-Arts, des Arts Libéraux et des Industries diverses.

Ce troisième mode est celui qui offre le champ d'action le plus vaste, celui qui donne le plus de latitude dans les applications et dont les ressources sont le plus variées et qui rallie le plus de praticiens. C'est le mode le plus facile à appliquer. Il faut reconnaître que M. Formigé a fait preuve d'un grand talent en développant ce système dans ses deux Palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux, dans lesquels il a accordé la place prépondérante aux matériaux autres que le fer; matériaux qui forment la décoration des façades. C'est un genre de construction constituant un style très gai qui conviendrait parfaitement dans les pays à soleil.

Le premier système de construction dont il est question ci-dessus, celui qui

donne le rôle prépondérant au calcul, ne convient qu'à certaines constructions comme celles des ponts, des viaducs, et aussi à certains édifices exceptionnels comme les phares et en particulier à la Tour Eiffel. Dans tous ces ouvrages, les détails, se rapportant à l'ornementation, disparaissent à côté des lignes d'ensemble qui deviennent les lignes magistrales de l'œuvre. Le sentiment du beau, du grandiose, y est produit par les grands espaces franchis (horizontalement et verticalement), par les masses considérables mises en mouvement bien plus que par des motifs de décoration que l'observateur ne considère qu'en dernier lieu.

On se plaint que le fer se présente, sous un aspect maigre dans les ensembles et qu'il ne permet pas les grandes surfaces, les grands nus, dont l'opposition est indispensable à l'effet des petites divisions. Les détails sont monotones dit-on : en en est toujours réduit aux treillis et aux têtes de rivets ; les lignes de la construction sont souvent raides et désagréables, les machines-outils donnant toujours à la matière des coupes brutes et sans grâce.

M. Hénard, d'accord avec beaucoup d'artistes, dit qu'il y a un peu de vrai dans ces critiques, qu'ont justifiées bon nombre de fois, d'une façon regrettable, l'insouciance artistique des ingénieurs ou la négligence des architectes.

Il faut avouer que si l'artiste est parfois saisi de loin par les dimensions, la hardiesse, la silhouette d'un pont ou d'un viaduc, par exemple, il est presque toujours désillusionné quand il analyse sa première impression. Quoi ! pas un détail intéressant au point de vue de la forme ! pas un motif décoratif tenant à l'ensemble ! Tout sacrifié à la formule ! Il faut tant de rivets pour former cette cornière, il n'y en aura pas un de plus ; il y a là besoin d'un couvre-joint, ce sera une pièce de tôle rectangulaire, rompant désagréablement avec les lignes et la forme générale ; un renfort est-il nécessaire, il sera coupé à la cisaille sans la moindre recherche de profil, et ainsi de suite.

Parfois, une tentative maladroite de décoration, qui n'est ni dans le style ni dans la proportion, vient accentuer cette absence de goût ; telles sont par exemple, ces affreuses colonnes doriques en fonte du pont de Courcelles-Ceinture, qui s'harmonisent si peu avec une poutre à treillis.

Il est évident que, comprise de cette façon, la construction métallique n'a aucun rapport avec l'art. Toute œuvre dans laquelle la forme est ainsi négligée, soit qu'il s'agisse de l'ensemble, soit qu'il s'agisse des détails, rentre dans la production purement industrielle. Ce n'est pas à dire pour cela que dans un édifice métallique, il faille quand même tout décorer ; cela n'est pas nécessaire et deviendrait même regrettable au point de vue de l'effet qu'on se propose de produire ; car l'œil a besoin de repos, et si les lignes générales doivent être simples, quelques détails étudiés avec goût suffisent pour donner à l'ensemble un caractère nettement artistique.

D'ailleurs, il faut bien reconnaître qu'on ne saurait retrouver dans un édifice métallique des dispositions analogues à celles d'un édifice en pierre. Ce sont des

ouvrages que l'on ne peut mettre en parallèle à aucun point de vue. Tous deux peuvent être des chefs-d'œuvre, mais ils n'ont par nature aucun point commun.

Il n'y a donc pas lieu de discuter si une église gothique est préférable au Palais des Machines. Ces deux monuments répondant à des époques, à des idées, à des aspirations absolument différentes.

On ne saurait nier que le Palais des Machines produise un grand effet artistique par sa forme même, par ses dimensions, et aussi par sa décoration et que les Palais des Arts et des Arts Libéraux ne réunissent les conditions nécessaires à tout édifice monumental : solidité, élégance dans les proportions, goût dans la décoration produite par des oppositions heureuses d'ombre et de lumière, par la coloration variée des divers matériaux. Toutes ces qualités abondent à profusion dans ces Palais et donnent à leur ensemble un aspect monumental et harmonieux.

Les éléments de la décoration dans la construction métallique. — Après ces généralités, il est utile de parler un peu plus terre à terre de la construction métallique et de résumer les ressources que le métal façonné présente par lui-même dans la décoration en faisant abstraction des autres matériaux de construction.

Pour les lignes générales, ce sont les arcs, les courbures variées, les panneaux ajustés de dimensions diverses qui tendent à l'effet artistique par leurs heureuses proportions.

Les éléments de décoration du métal, capables de rompre la monotonie de grandes surfaces de tôle, sont bien connus : ce sont, pour les grandes lignes, les nervures des fers à double et simple T, les cornières, les fers en forme d'U et les fers profilés de toutes sortes que les usines fabriquent couramment depuis longtemps. Pour les détails, on a recours aux boulons et aux rivets qui se trouvent, par le mode même de construction, encadrés par les nervures des éléments d'assemblage.

Dans les ensembles, un élément constructif qui permet de s'affranchir des grandes surfaces de tôle, c'est le treillis et les panneaux à jour dont on peut alterner les dimensions, ainsi qu'il a été fait si heureusement dans les grandes fermes du Palais des Machines.

Telles sont les faibles ressources que l'architecte doit accepter franchement et mettre en œuvre pour réaliser sa conception artistique sans les masquer par des matériaux étrangers. Il doit surtout éviter d'imiter l'aspect traditionnel des motifs de pierre, tels que pilastres, colonnes ornées, corniches, etc.

Tout le monde sait que l'architecture contemporaine a copié tous les styles, tous les ordres, et les a souvent amalgamés sans discernement. Il faut de toute nécessité que l'architecture métallique soit distincte de tous les styles du

passé et qu'elle diffère autant dans ses détails et sa décoration que son ossature diffère des modes constructifs des anciens monuments.

L'ingénieur a trouvé pour le métal les profils et les formes répondant à la fois à l'économie de la matière à la stabilité et à la durée des ouvrages, en un mot, tous les éléments constructifs. L'architecte, à son tour, doit rechercher dans le métal tous les éléments décoratifs dont il est susceptible afin que les constructions métalliques de l'avenir soient des monuments ne le cédant en rien en originalité, en somptuosité aux monuments anciens. L'architecture nouvelle aura alors définitivement rompu avec les traditions du passé et elle produira des chefs-d'œuvre durables, présentant une unité complète.

On comprend que pour arriver à un tel résultat, l'artiste ou l'architecte, et le calculateur ou l'ingénieur doivent se prêter un mutuel appui. A l'architecte, appartient donc la conception générale de l'œuvre, c'est-à-dire les proportions et le profil des éléments principaux, l'étude de la forme dans les détails, sous la réserve que rien de tout cela ne sera incompatible avec les exigences de résistance et d'économie de la matière employée. A l'ingénieur incombe le calcul des résistances et des conditions de stabilité, comprenant l'étude de l'économie de la matière et la sécurité de l'ouvrage avec toute réserve que les sections imposées par le calcul ne nuiront en rien aux effets décoratifs. Toutes ces conditions ont été largement remplies dans l'étude du Palais des Machines. De plus, au point de vue de l'effet artistique, il y a une grande unité aussi bien pour l'ensemble que pour les détails intérieurs. Aussi, trouve-t-on partout la même préoccupation de l'architecte de se servir uniquement du fer comme moyen de décoration ; aussi a-t-il rejeté l'emploi de la fonte dans la construction des piliers des tribunes et dans celle des escaliers et des candélabres. Partout, c'est la simple tôle ou la tôle posée en croix, la cornière et le rivet qui forment la décoration. M. Dutert a poussé l'étude décorative du fer aussi loin que le permettaient les ressources actuelles de l'outillage métallurgique.

Aujourd'hui, dit M. Alfred Picard dans son rapport sur l'Exposition universelle, les *desiderata* pour la construction des édifices métalliques seraient des moyens mécaniques économiques remplaçant le travail de la forge à la main et permettant d'exécuter les formes et les contours dessinés par l'architecte. On a pu voir à l'Exposition, dans les produits des usines métallurgiques, des consoles à enroulement de tôle qui montrent que cette préoccupation n'est pas étrangère aux maîtres de forge français.

L'usage de ces moyens mécaniques rendrait le fer industriel aussi maniable dans les grands édifices que le métal des anciens forgerons dans les chefs-d'œuvre délicats qu'ils nous ont laissés et qui sont comme les précurseurs de ce qui peut être tenté aujourd'hui. Alors ayant la conception esthétique pour base dans les ensembles et les détails, et le calcul pour contrôle dans la résistance et la stabilité, le fer, d'une mise en œuvre variée et facile, vaincra les dernières objec-

tions de ses adversaires et se placera définitivement au premier rang des ressources de la construction moderne. Il possède en effet au plus haut degré des qualités éminemment architecturales, énoncées ci-dessus : la force, l'élégance, la durée.

Personne ne pourrait dire si le fer ne sera pas détrôné un jour par l'acier, ainsi que l'affirment d'éminents ingénieurs. On s'attendait même que l'acier entrerait pour une grande part dans la construction de la Tour Eiffel et dans le Palais des Machines ; il n'en a pas été ainsi. Ce métal n'a donc pas encore fourni tous les avantages qu'il était permis d'en attendre. L'acier ayant pour certaines applications une résistance presque double de celle du fer, l'architecture métallique ferait une nouvelle évolution : les portées des ouvrages pourraient, sans inconvénient, être augmentées. Les sections des supports, piliers, poutres, arcs, subiraient des réductions sensibles dans leurs dimensions. La décoration s'en ressentirait nécessairement par la raison que les surfaces recevant l'élément décoratif seraient encore plus exigües. Mais déjà quelle différence saisissante entre les constructions métalliques et les massifs monuments de pierre : les premiers laissant circuler partout l'air et la lumière avec profusion, les seconds, au contraire, créant des entraves par l'épaisseur des murs et des supports. Le vingtième siècle, qui est bien près de nous, pourrait bien montrer d'autres progrès encore. On peut dès maintenant être assuré que l'inspiration ne manquera pas au Travail et au Génie du siècle futur pour donner à toutes ces questions une solution conforme au progrès de l'art des constructions métalliques et fournir un plein épanouissement à la nouvelle architecture.

Nous avons reporté dans *les Grandes Constructions métalliques* (page 83), des considérations relatives à l'ossature proprement dite et fait un parallèle entre les dépenses des palais des deux expositions universelles de 1878 et 1889.

Pour terminer l'exposé de la lourde tâche qui incombait aux architectes, nous donnerons un aperçu des procédés de levage divers des fermes des palais du Champ de Mars.

DIVERS MODES DE LEVAGE DES FERMES MÉTALLIQUES DE 25 MÈTRES.

La charpente métallique de 25 mètres d'ouverture (galeries des expositions diverses) a été distribuée ainsi qu'il a été indiqué en quatre lots d'entreprise, dont les adjudicataires ont été : la Société des Ponts et Travaux en fer, la Société des Ateliers de Saint-Denis, la Société des Forges de Franche-Comté, et M. Roussel, entrepreneur.

Les piliers, les pannes et les fermes ont été amenés sur chacun des chantiers.

Pour faciliter le transport, les fermes avaient été séparées en trois fragments que l'on a assemblés et rivés à pied d'œuvre.

Les choses étant ainsi disposées pour chacun des trois chantiers, il restait à procéder au levage des fermes Ce travail a été effectué différemment par les constructeurs comme il suit :

1° La *Société des Ponts et Travaux en fer* a fait usage de deux pylônes en charpente de 15 mètres de hauteur, constitués chacun par quatre mâts réunis entre eux, et pouvant rouler sur des galets adaptés à leurs pieds. On pouvait les déplacer sur des rails, parallèlement et perpendiculairement à l'axe des galeries à construire. A la partie supérieure du pylône, était une potence qui servait au levage des pannes. Les piliers et les fermes ont été levés au moyen d'une poulie mouflée et d'un treuil.

L'opération comprenait le levage des piliers, celui des fermes, des pannes et du lanterneau.

Pour opérer le levage des piliers, ceux-ci étaient couchés sur le sol, la tête placée au-dessus du socle de fondation. On amenait le pylône de manière que le crochet de la poulie mouflée fût à l'aplomb de ce socle, et l'on dressait le pilier en le hissant par sa partie supérieure, tandis que son pied était porté par un petit chariot que l'on poussait graduellement.

L'opération qui vient d'être décrite, se faisait simultanément pour les deux poulies d'une même ferme. Quand les deux piliers étaient debout, on les maintenait ainsi par des haubans, et l'on faisait avancer les deux pylônes l'un vers l'autre de manière que leur écartement fût environ égal aux deux tiers de la largeur de la galerie. La ferme était déplacée au moyen de gros boulons, étant amenée sous les deux crochets qui la soulevaient parallèlement jusqu'à la hauteur nécessaire ; puis on l'assujettissait sur les deux piliers en la boulonnant.

Les pannes de la ferme et les entretoises des piliers étaient levées au moyen des deux pylônes que l'on déplaçait en conséquence.

Il restait à mettre en place le lanterneau, ce qui ne présentait aucune difficulté, par la raison qu'il avait été fractionné convenablement en éléments d'un poids restreint.

Le chantier étant composé de trente-quatre hommes, l'avancement moyen du travail était d'une travée et demie par jour.

Le système adopté par cette Société offrait une grande sécurité dans les manœuvres, et une grande facilité de réglage.

2° *Procédé de la Société des Forges et Ateliers de Saint-Denis.* — Cette Société n'a pas fait usage d'appareils spéciaux : deux grandes chèvres, placées au tiers et aux deux tiers de la largeur de la galerie, levaient chaque ferme. Deux

autres chèvres, moins puissantes que les précédentes, levaient les piliers et les pannes.

L'équipe, qui comptait dix-sept hommes, montait une travée par jour.

3° *Système de levage de la Société des Forges de Franche-Comté.* — L'outillage se composait de deux échafaudages roulants, comprenant chacun deux chèvres, l'une servant au montage des piliers et des fermes, l'autre au montage des pannes. Les deux Sociétés, citées ci-dessus, levaient successivement les fermes d'une même galerie, tandis que celle des forges de Franche-Comté procédait par groupe de six galeries en levant deux séries de six fermes, placées dans le même plan, avant de passer aux séries suivantes.

Les échafaudages roulants se déplaçaient perpendiculairement à l'axe des galeries.

L'équipe était de cinquante hommes, et l'avancement moyen était de trois travées et demie par jour. Ce système présentait une grande rapidité, mais moins de sécurité que les deux systèmes précédents.

4° *Procédé de levage de M. Roussel.* — Le levage des piliers et des pannes se faisait au moyen de deux chèvres à coulisses.

En résumé, les quatre entreprises ont mis en place 350 fermes; 420 piliers et 2 970 pannes, le tout représentant le poids de 6 000 tonnes. La dépense s'est élevée à 1 912 000 francs, y compris les frais d'agence, pour une surface couverte de 81 170 mètres carrés, ce qui fait ressortir le prix à 23 fr. 55 le mètre carré.

Voir la planche 29-30 qui montre le montage des galeries de 30 mètres.

ÉCHAFAUDAGE DU DOME CENTRAL

(Planche 31)

Le montage a duré 10 mois. Il comprenait :

1° Le montage des raccords avec les deux pavillons annexes ;

2° Le montage de la coupole ;

3° Le montage des pavillons, des grands pylônes et de la façade principale ;

4° Le montage de l'armature surmontant le dôme.

Pour effectuer le montage des parties verticales, on a construit un échafaudage annulaire en charpente. La plate-forme de cet échafaudage était à 44 mètres de hauteur au-dessus du sol et enveloppait complètement la surface intérieure de la construction. Cet échafaudage a exigé 240 mètres cubes de bois. Il se composait de seize fermes, solidement moisées entre elles.

Un escalier permettait aux ouvriers d'accéder aux planchers répartis, dans toute la hauteur de l'échafaudage.

La plate-forme supérieure portait une voie de roulement de $2^{m},50$ de largeur sur laquelle se déplaçait l'appareil de levage. Cet appareil comprenait un chariot guidé que l'on pouvait mettre en mouvement en agissant du sol sur un mécanisme. Un long bâti, porté par le chariot, pouvait se déplacer normalement à la voie circulaire. Enfin, un truc servait à monter les fardeaux qui ne dépassaient pas trois tonnes.

Le système était rendu indéformable au moyen d'une double diagonale en fer plat.

Pour le montage des éléments de la coupole, on s'est servi d'un double encorbellement installé autour de la plate-forme annulaire et soutenu par des contre-fiches qui, se prolongeant à l'intérieur, formait un pylône conique portant une plate-forme de 4 mètres de diamètre qui a été utilisé pour la construction de la partie supérieure du Dôme.

Le montage des pavillons et des autres constructions annexes a été effectué jusqu'au premier étage au moyen de chèvres. Pour les parties plus élevées que le premier étage, on a utilisé l'appareil de levage des dômes en lui adjoignant une bigue qui permettait de manœuvrer les pièces à une distance de plus de 30 mètres du centre.

Il nous reste à étudier les grands palais du Champ de Mars au point de vue de l'ossature métallique.

AVIS AUX LECTEURS

Ce qui va suivre concernant les détails techniques des constructions métalliques devrait prendre place dans la 2me partie : la *Construction*. Nous avons pensé que les lecteurs préféreraient trouver réunis tous les documents *Architecture*, *Décoration* et *Construction* se rapportant aux palais métalliques de l'Exposition.

GRANDES CONSTRUCTIONS METALLIQUES
de l'Exposition Universelle de 1889

Considérations générales sur les Constructions métalliques

Il est sensible pour tout le monde que les organisateurs de l'Exposition (architectes et ingénieurs) ont eu en vue de frapper les yeux en donnant à leurs palais des dimensions inusitées. Ils ont pleinement réussi : quel est en effet le visiteur qui n'a été saisi, enthousiasmé même, par l'ampleur des constructions du Champ de Mars, ou pour mieux dire par leur hauteur, leur portée et leur étendue superficielle. C'est à l'emploi du métal que l'on doit toutes les extensions de portée dans l'œuvre et la hardiesse des profils qui forment la caractéristique linéaire des palais de l'Exposition de 1889. Nous réservons, pour le moment, la magnifique décoration de ces mêmes palais, produite par le concours du métal et de divers matériaux : décoration complémentaire et indispensable pour que l'ensemble soit un chef-d'œuvre, c'est-à-dire un tout harmonieux.

Il est intéressant de rappeler sommairement les phases des constructions métalliques et d'en suivre le développement à travers les expositions, afin de montrer que chacune d'elles reflète et résume les perfectionnements accomplis dans la période de temps qui la sépare de sa devancière.

Nous résumerons les appréciations très judicieuses que MM. Eiffel et Fouquet ont rédigées pour *le Congrès des procédés de construction*, tenu à Paris pendant l'Exposition de 1889.

L'emploi du métal (fonte et fer) comme ossature dans les constructions ne remonte pas à un siècle et la charpenterie métallique a dû son développement à la création des chemins de fer, aux perfectionnements de l'industrie métallurgique et surtout à la fabrication des fers laminés et profilés de toute forme qui substituait le laminage au forgeage. C'est vers la fin du siècle dernier que l'on fit au Théâtre-Français l'une des premières applications du fer à la charpente. Le comble fut construit en fer forgé; ce qui nécessita une grande dépense qui encouragea peu la propagation des constructions métalliques. Citons cependant un grand ouvrage en métal, exécuté en 1809 par l'architecte Bélanger pour remplacer la coupole de l'ancienne Halle au blé, construite tout en bois en 1782

dans le système de Philibert De Lorme et qui avait été détruite dans un incendie en 1809.

L'ancienne coupole en fonte de Bélanger a été utilisée dans ces dernières années pour la transformation de l'ancienne Halle au blé ou Bourse de Commerce. Cette coupole mesure 39 mètres de diamètre et est constituée par des arbalétriers cintrés ayant la forme d'une poutre à treillis. Des couronnes circulaires horizontales servent d'entretoises. On croit généralement que cet ouvrage est en fer forgé; c'est une erreur : les voussoirs en fonte ont été fondus au Creusot en 1809.

Il faut arriver en 1837 pour rencontrer la ferme Polonceau qui amena un perfectionnement considérable dans la construction des combles dont la portée pût être augmentée. Au début, la ferme Polonceau admettait la combinaison du fer, de la fonte et du bois : les arbalétriers en bois étaient soutenus au milieu de leur longueur, et quelquefois en plusieurs points, au moyen de bielles en fonte que tenaient en place des tirants en fer.

Cette ferme, comme on le sait, s'est bien modifiée; elle a été constituée entièrement par des fers laminés. Les grandes fermes de 40 mètres d'ouverture construites par Flachat dans l'ancienne gare Saint-Lazare à Paris sont de ce système.

En 1849, M. Travers construisit un comble en fer forgé de 36 mètres de portée pour la Douane à Paris; à cette époque, les usines métallurgiques n'exécutaient pas encore de fers laminés; aussi cet ouvrage fût-il très remarqué.

C'est en 1851 que Baltard construisit les Halles centrales de Paris qui furent considérées comme un nouveau type de construction et d'architecture dans lequel l'élément principal était le métal, fer et fonte. Ces Halles servirent de modèle pour un grand nombre de constructions faites en France et dans les pays étrangers.

A mesure que les constructions métalliques se développaient, on sentit la nécessité d'augmenter la portée de tous les ouvrages, celle des planchers et celle des combles et de diminuer le nombre des appuis intermédiaires, afin d'augmenter les espaces libres et de réduire les entraves des supports verticaux. En même temps, on exigea plus d'élégance dans l'aspect général des façades. Des progrès considérables furent réalisés dans les constructions des bâtiments et palais qui furent érigés à propos des expositions de 1855, 1867 et 1878. Ainsi en 1855, Barrault édifiait pour le Palais de l'Industrie, la première ferme en fer en arc à grande portée. Les ingénieurs et les architectes furent unanimes à apprécier le mérite de cette grande nef en plein cintre de près de 50 mètres d'ouverture et présentant une hauteur de 35 mètres au-dessus du sol. Cette ferme servit de point de départ à l'étude et à la construction d'ouvrages similaires.

Dans cette grande ferme, le comble était solidement contrebuté par les deux nefs latérales. Les pièces laminées et rivées entraient pour une grande part

dans l'ossature ; dans les assemblages, le travail de forge y jouait encore un rôle important que l'économie commandait de réduire autant que possible et que de futurs progrès devaient réaliser. Aussi, à partir de 1855, les efforts des constructeurs eurent-ils pour objectif de réduire la section des pièces et de simplifier les assemblages. La fonte fut réservée pour les parties décoratives, tandis que pour les supports verticaux, on la remplaça par des piliers en tôle qui résistent mieux aux vibrations que la fonte, surtout lorsqu'il s'agit de grandes hauteurs. D'autre part, les supports en tôle et cornières sont d'une fabrication courante et n'exigent pas les mêmes précautions dans le chargement, le transport et les manutentions nombreuses qui précèdent le montage des pièces de fonte.

L'Exposition universelle de 1867 mit en relief les nouveaux progrès réalisés dans les constructions métalliques. Dans la grande galerie du travail qui avait 34 mètres d'ouverture et 25 mètres de hauteur libre, les fermes étaient constituées chacune par deux arcs en fer reposant à leurs extrémités inférieures sur des pilastres carrés en tôle. La corde de ces arcs était de 33 mètres et leur flèche de 6 mètres. Une particularité à signaler dans cette ferme consistait à reporter les tirants au-dessus des arcs. M. Krantz, directeur des travaux de cette exposition, n'était pas parvenu à s'affranchir des pièces faisant fonction de tendeurs et les avait dissimulées en les reportant au sommet des fermes. Plus tard, on parvient à trouver d'autres dispositions qui permirent de supprimer ces pièces gênantes et de dégager entièrement les nefs. C'est le progrès caractéristique réalisé en 1878 dans la ferme due à de Dion, ingénieur, chargé de l'étude du Hall des machines. A cet effet, il établit une ferme de 35 mètres d'ouverture et de 22 mètres de hauteur sous clef. Elle était solidaire avec ses pieds-droits au moyen de parties arquées et formait une poutre continue solidement encastrée dans le sol par ses deux extrémités et exempte de tirant horizontal.

Cette ferme de Dion, qui était une nouveauté, a servi de modèle pour un grand nombre de constructions, faites depuis lors en France et à l'étranger.

Les transformations de la construction des charpentes en fer se sont étendues dans tous les pays, principalement en Angleterre et en Allemagne où l'on trouve des fermes de grandes portées, construites avec des perfectionnements analogues à ceux des ouvrages français. Nous en citerons quelques exemples :

Ainsi dès 1866, on construisit à Londres la gare de Saint-Pancrace dont les fermes ont une portée de $73^{m},15$. Elles sont d'une forme ogivale et présentent une similitude avec les fermes du Palais des Machines de notre exposition 1889. Les fermes descendent jusqu'au niveau du sol où elles s'amarrent dans des massifs de maçonnerie et de plus elles sont munies de tirants noyés sous les voies et les trottoirs. La flèche des fermes est de 30 mètres.

En 1877, on construisit pour la gare de Saint-Enoch, à Glasgow, des fermes en anse de panier de $60^{m},35$ de portée, analogues à celles de la gare de Saint-Pancrace, à Londres, mais en y supprimant les tirants inférieurs.

Signalons aussi les fermes de la gare de la place Alexandre, à Berlin (Métro politain) de $37^{m},50$ de portée, qui sont presque en plein cintre et sont constituées par deux demi-arcs de cercle, articulés au sommet et aux naissances. Elles n'ont pas de tirant horizontal.

Dans la gare de Silésie, à Berlin (1884) la portée est de $54^{m},35$; les fermes, en anse de panier, ont $17^{m},50$ de flèche et présentent trois articulations, l'une au sommet et les deux autres à mi-hauteur.

Au niveau de ces deux dernières articulations, se trouve un tirant légèrement arqué et rattaché à l'arc par deux pièces verticales.

Malgré les progrès faits dans la construction des fermes métalliques à grande portée, il y avait encore de grandes difficultés à vaincre pour réaliser les conditions de hauteur et de portées exceptionnelles imposées dans le programme général des Palais projetés pour l'Exposition de 1889. Aussi la Direction générale des travaux avait-elle résolu de loger les machines dans un palais unique de 400 mètres de longueur sur une largeur de 115 mètres ne présentant aucun support vertical intermédiaire. C'était un programme difficile à remplir.

Afin de faciliter leur tâche et d'économiser le temps, les ingénieurs et les architectes chargés de dresser les projets des diverses fermes, qui comprenaient onze types, s'imposèrent des principes qui ont régi toutes les ossatures métalliques, principes que l'on peut résumer ainsi :

Les appuis devaient être, en général, en fer comme la charpente des combles, et non en fonte. Il n'y avait exception que pour les cas ou les supports verticaux en fonte se prêtaient facilement à l'ornementation ou procuraient des économies sensibles.

On s'attacha à n'employer que des fers laminés ou autres de fabrication courante et à les utiliser dans la construction tels qu'ils sont fournis par les usines, sans qu'il soit nécessaire de les courber et de leur faire subir un travail de forge. On était certain de réduire ainsi les dépenses par suite de la simplification de la main-d'œuvre et de la diminution du prix de la matière.

Dans la plupart des fermes, les arbalétriers et les tirants horizontaux furent supprimés afin de les dégager d'entraves qui nuisent à la fois à l'aspect général et à la décoration et qui, d'autre part, sont coûteux de fabrication.

Pour le dire en passant cette tendance à supprimer dans les fermes les entraits, les tirants, les poinçons, les aiguilles verticales, est aujourd'hui tout à fait caractéristique des progrès réalisés dans les constructions métalliques. C'est à cette heureuse modification que les grandes fermes de l'Exposition ont dû leur aspect d'élégance et de légèreté qui ont frappé les visiteurs.

Quant à l'étude théorique des fermes de l'Exposition, c'est-à-dire celle qui se rapporte aux calculs permettant de se rendre compte de la sécurité des ouvrages, il fut adopté, en principe, que ces calculs auraient pour bases des hypothèses simples d'une réalisation certaine ; comme conséquence de ce principe, on admit

des fermes articulées à leur sommet et à leurs pieds. Cette disposition fait connaître à l'avance trois points mathématiques de la courbe des pressions et lève toute indétermination dans ce genre de recherche. On attribue à M. Mantion, ingénieur en chef de la Compagnie du Nord, la première application des articulations dans les fermes.

Le peu de temps dont on disposait pour l'étude et l'exécution des constructions du Champ de Mars faisait de tous ces principes une nécessité absolue. Les résultats économiques qu'on en a tirés ont d'ailleurs répondu à la méthode qu'on s'était imposée.

Comparaison des fermes des Expositions de 1878 et 1889. — En 1878, les fermes des Palais comprenaient sept types présentant des portées de

35, 25, 15, 12, 7 et 5 mètres.

avec des hauteurs sous clef de

22^m, $12^m,50$ et 7 mètres.

En 1889, les fermes présentaient onze types dont les portées étaient de :

115, 50, 30, 25 et 15 mètres

avec des hauteurs sous clef de

45^m, $28^m,20$, $25^m,47$ et $13^m,20$.

Les Galeries des machines de l'Exposition de 1878 et le Palais des Machines de l'Exposition de 1889 fournissent des chiffres intéressants qui sont en faveur de ce dernier, au point de vue économique des dépenses et de l'accroissement des espaces abrités.

Voici les chiffres se rapportant à la grande nef du Palais des Machines de 1889 :

Surface couverte correspondant à une hauteur moyenne de $36^{m2},13$	48 119 mèt. carrés.
Volume abrité	1.738.684 mèt. cubes.
Poids total du métal, moins les deux verrières extrêmes et les tribunes	7 713.832 kilogr.
Poids moyen par mètre carré couvert	$160^k,3$
Poids moyen par mètre cube abrité	4 ,436
Prix de revient total (moins les frais d'agence)	3.584.491 francs.
Prix moyen par kilogramme de métal	$0^{fr}.464$
Prix par mètre carré couvert	74 ,45
Prix par mètre cube abrité	2 ,06

Si l'on tient compte, d'une part, des galeries latérales qui longeaient les longs côtés de 400 mètres du Palais des Machines et, d'autre part, de l'avant-corps du

côté de l'École militaire et du vestibule d'entrée, la dépense de l'unité superficielle et celle du mètre cube abrité augmentent sensiblement. En effet, les éléments, surfaces, volumes et dépenses correspondantes sont les suivants :

Surface totale couverte du Palais et des galeries latérales.	62.013 mèt. carrés
Volume total abrité	2 019.186 mèt. cubes.
Poids total du métal (non compris les verrières et les tribunes).	12.765 795 kilogr.
Poids par mètre carré couvert.	208^{k},880
Poids par mètre cube abrité.	6 ,320
Prix de revient total (non compris les frais d'agence). .	5.533.190 francs.
Prix moyen par kilogramme de métal.	0^{fr},433
Prix par mètre carré couvert	89^{fr},22
Prix par mètre cube abrité.	2^{fr},74

Pour compléter ces chiffres, il faut noter que les annexes du Palais des Machines comprenaient 17 500 mètres carrés de plancher au premier étage et quatre groupes d'escaliers en métal. Les deux verrières métalliques des deux pignons extrêmes du Palais des Machines donnent un poids de 901 tonnes et une surface verticale de 8 260 mètres carrés. Le dôme du vestibule d'entrée de ce Palais pèse 408 tonnes correspondant à une étendue superficielle de 36^{m},80 $\times$ 30 = 1 100 mètres carrés environ.

Ce dôme est placé au milieu du grand côté de 400 mètres de la Galerie des Machines (Côté du Champ de Mars).

Si l'on se reporte aux Galeries des machines de l'Exposition de 1878, on trouve les chiffres suivants :

Surface couverte.	45.924 mèt. carrés
Volume abrité correspondant à une hauteur moyenne de 19^{m},70.	904.700 mèt. cubes.
Poids total du métal.	7.600 tonnes.
Dépense totale.	4.210.000 francs.
Prix de la tonne du métal.	55^{fr},40
Poids du mètre carré couvert.	165 kilog.
Poids du mètre cube abrité.	8^{k},40
Prix du mètre carré couvert.	91^{fr},40
Prix du mètre cube abrité.	4^{fr},65

Ainsi le prix du mètre carré couvert des constructions métalliques abritant les machines qui a été de 91 fr. 40 en 1878 a été réduit en 1889 à 74 fr. 45 et le prix 4 fr. 65 du mètre cube abrité pour 1878 s'est réduit à 2 fr. 06 en 1889. C'est donc pour cette dernière comparaison une réduction de plus de 50 %. C'est un beau résultat en faveur du Palais des Machines de 1889 et qui établit un grand progrès au point de vue économique des constructions métalliques à grande portée.

Il est intéressant de faire une comparaison analogue pour des fermes de portées moindres, prises dans les expositions de 1878 et 1889.

GALERIES DE L'EXPOSITION DE 1878 COMPRENANT DES FERMES DE 25. 15, 12 ET 5 MÈTRES DE PORTÉE.

Surface totale couverte.	145.078 mèt. carrés
Volume abrité avec une hauteur moyenne de $9^{m},6$. . .	1.399.818 mèt. cubes.
Poids total des ossatures.	13.832 tonnes.
Dépense totale.	5.172.000 francs.
Prix de la tonne.	374 francs.
Poids du mètre carré couvert.	$96^{k},5$
Poids du mètre cube abrité.	9 ,88
Prix du mètre carré couvert.	$36^{fr},10$
Prix du mètre cube abrité	3 ,69

PALAIS DES INDUSTRIES DIVERSES (EXPOSITION DE 1889) COMPRENANT DES FERMES DE 30, 25 ET 15 MÈTRES DE PORTÉE

Surface couverte.	106.531 mèt. carrés
Volume abrité avec une hauteur moyenne de $12^{m},13$. . .	1.292.647 mèt. cubes.
Poids total du métal.	9.357.140 kilogr.
Poids du métal par mètre carré couvert.	$87^{k},835$
Poids par mètre cube abrité.	7 ,239
Dépense totale.	3 171 290 francs.
Prix moyen du kilogramme de métal.	$0^{fr},338$
Prix par mètre carré couvert.	29 ,76
Prix par mètre cube abrité.	2 ,45

Ces fermes présentaient chacune une ossature formée de poutres évidées, reposant sur des piliers en tôle sur lesquels les poutres étaient fixées par leur membrure inférieure arquée. Ces poutres n'exercaient aucune poussée sur les piliers.

On peut comprendre dans les documents se rapportant aux galeries des expositions diverses les chiffres suivants concernant le Dôme Central qui précède la Galerie centrale de 38 mètres et les pavillons d'angle, formant les annexes du Dôme Central.

Surface couverte par le dôme et ses annexes.	1 871 mèt. cubes
Poids de l'ossature.	1.046 tonnes.
Poids par mètre carré couvert.	559 kilogr.
Poids par mètre cube abrité.	$17^{k},560$
Les quatre pavillons d'angle, pesant.	513 tonnes
ils donnent par mètre carré couvert un poids de. . .	551 kilogr.
et par mètre cube abrité un poids de.	$24^{k},320$.

PALAIS DES BEAUX ARTS ET DES ARTS LIBÉRAUX.

Les fermes de ces palais ont un écartement de $52^m,70$ entre les parements extérieurs de leurs montants et une hauteur sous clef de $28^m,10$.

Ces fermes présentent des dispositions communes avec la grande ferme de 110 mètres du Palais des Machines. Ainsi elles sont constituées par des poutres arquées en tôle et cornières, et sont articulées au sommet et à leurs bases ; ces dernières reposent sur des massifs de maçonnerie ; mais il y a cette différence que les fermes du Palais des Machines ne présentent aucun tirant horizontal, tandis que dans les fermes des Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux, on a dû équilibrer la poussée par des tirants placés sous le sol. Cette disposition a été nécessitée par la construction de caves dont l'emplacement n'a pas permis de donner des dimensions suffisantes aux massifs de maçonnerie, recevant les articulations inférieures des fermes.

Par suite de convenance architecturale, les poutres ont reçu une faible hauteur et pour obtenir la résistance nécessaire, il a fallu les jumeler ; ce qui a permis l'emploi de treillis simples très légers relativement, eu égard aux dimensions de l'ouvrage.

Les dômes de ces palais, ont été composés aussi simplement que possible en les constituant par des arcs appuyés à leur base sur un polygone métallique, porté par des piliers verticaux. Ces arcs butaient librement à leur sommet contre une poutre circulaire servant de base au campanile du dôme. Il est intéressant de faire le parallèle des éléments de ces dômes (de 1889) avec des ouvrages à peu près similaires construits à l'Exposition de 1878.

ÉLÉMENTS DES QUATRE PAVILLONS, DU DOME D'ENTRÉE ET DES DEUX VESTIBULES PARALLÈLES A LA SEINE ET A L'ÉCOLE MILITAIRE (EXPOSITION DE 1878)

Surface couverte	17.873 mèt. carrés
Volume abrité pour une hauteur moyenne de $24^m,59$	439.592 mèt. cubes
Poids total du métal	5.840.000 kilogr.
— par mètre carré couvert	327 —
— par mètre cube abrité	$13^k,300$
Prix de revient total	3.450.000 francs.
— du métal par kilogramme	$0^{fr},589$
— par mètre carré couvert	192 francs.
— par mètre cube abrité	$7^{fr},83$.

ÉLÉMENTS DES PALAIS DES BEAUX-ARTS ET DES ARTS LIBÉRAUX DE L'EXPOSITION DE 1889.

Surface couverte	44.100 mèt. carrés
Volume abrité pour une hauteur moyenne de 23m,36	1.030.583 mèt. cubes
Poids total du métal	9.119.345 kilogr.
— par mètre carré couvert	106k,780
— par mètre cube abrité	8 ,859
Dépense totale du métal	3.744.390 francs.
Prix du métal par kilogramme	0fr.41
— par mètre carré couvert	84fr,91
— par mètre cube abrité	3fr,63

Indépendamment des chiffres concernant les éléments des fermes métalliques principales des Expositions de 1878 et 1889, il est intéressant de comparer les moyennes des dépenses pour l'ensemble des constructions métalliques de ces deux expositions, afin de faire ressortir les différences qu'elles présentent et en quoi elles consistent. Il résulte de cette comparaison que les surfaces couvertes n'ont pas été augmentées, comme on pourrait le croire, et qu'elles ont même été réduites d'un 1/19 environ pour 1889.

En effet, pour 1878, la surface = 225075 mètres carrés et pour 1889 212644 mètres carrés.

La hauteur moyenne libre des constructions a augmenté de 12m,94 à 20m,42 c'est-à-dire des 57/100 environ.

Cette augmentation de hauteur a produit une augmentation correspondante de volume abrité de 0.49, presque une augmentation de moitié. En même temps le prix du mètre carré couvert est resté à peu près le même (58 fr. 54 au lieu de 58 fr. 20), tandis que le prix du mètre cube abrité s'est abaissé de 4 fr. 48 à 2 fr. 86, c'est-à-dire qu'il est pour les palais de 1889 les 36/100 du prix correspondant pour les bâtiments de 1878.

De plus, dans ces derniers, la surface des caves comptait pour 96700 mètres carrés, tandis que dans les palais de 1889 il y avait 38711 mètres carrés de planchers et seulement 4400 mètres carrés de caves. Une autre différence portait sur la portée des solives qui ne dépassait pas 5 mètres dans les palais de 1878 et qui atteignait 15 mètres pour les palais de 1889 et 7m.50 pour les caves.

Après avoir donné des renseignements statistiques sur les dépenses des constructions metalliques et fait un parallèle entre les expositions de 1878 et 1889, il nous reste à pénétrer dans le détail des constructions métalliques de notre exposition que nous étudierons dans l'ordre suivant :

Le Palais des Machines ; le vestibule qui sert lui d'entrée ; la Galerie centrale de 30 mètres et le Dôme Central y attenant ; les Palais des expositions diverses ; les Palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux : la Tour Eiffel.

Nous rappellerons pour l'intelligence de ce qui va suivre, concernant les grandes constructions et Palais métalliques du Champ de Mars, leur distribution générale au moyen du plan page 93, distribution que l'on peut grouper ainsi :

1° Palais des Machines.

Grande galerie de 115 mètres × 420 mètres (*en haut du plan*).

m, *m* petites galeries latérales et longitudinales de 15 mètres d'ouverture.

V vestibule d'entrée de la grande Galerie des Machines, surmonté d'un dôme de 25^{m},66 de diamètre.

2° Palais des Expositions diverses.

E, E Deux groupes comprenant chacun sept galeries de 25 mètres d'ouverture.

e, *e* Deux petites galeries de têtes de 15 mètres d'ouverture.

GG Galerie centrale de 30 mètres d'ouverture.

D Dôme central de 30 mètres de diamètre, servant d'entrée monumentale à la galerie centrale G G et aux galeries d'expositions diverses E, E.

E', E' Deux groupes comprenant chacun trois galeries de 25 mètres et deux galeries longitudinales *e' e'* de 15 mètres d'ouverture. Toutes ces galeries sont des annexes des galeries E, E des Expositions diverses.

R R' Artère transversale du Champ de Mars, allant de l'avenue Rapp à la rue Desaix, couverte en partie par la galerie Rapp R de 30 mètres d'ouverture et par la galerie Desaix R' de 30 mètres d'ouverture.

3° Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux.

B Galerie des Beaux-Arts de 53^{m},50 d'ouverture.

b, *b* Deux petites galeries latérales de 15 mètres d'ouverture.

d Dôme de 30^{m},50 de diamètre, surmontant le palais des Beaux-Arts.

B' Galerie des Arts libéraux de 53^{m},50 d'ouverture.

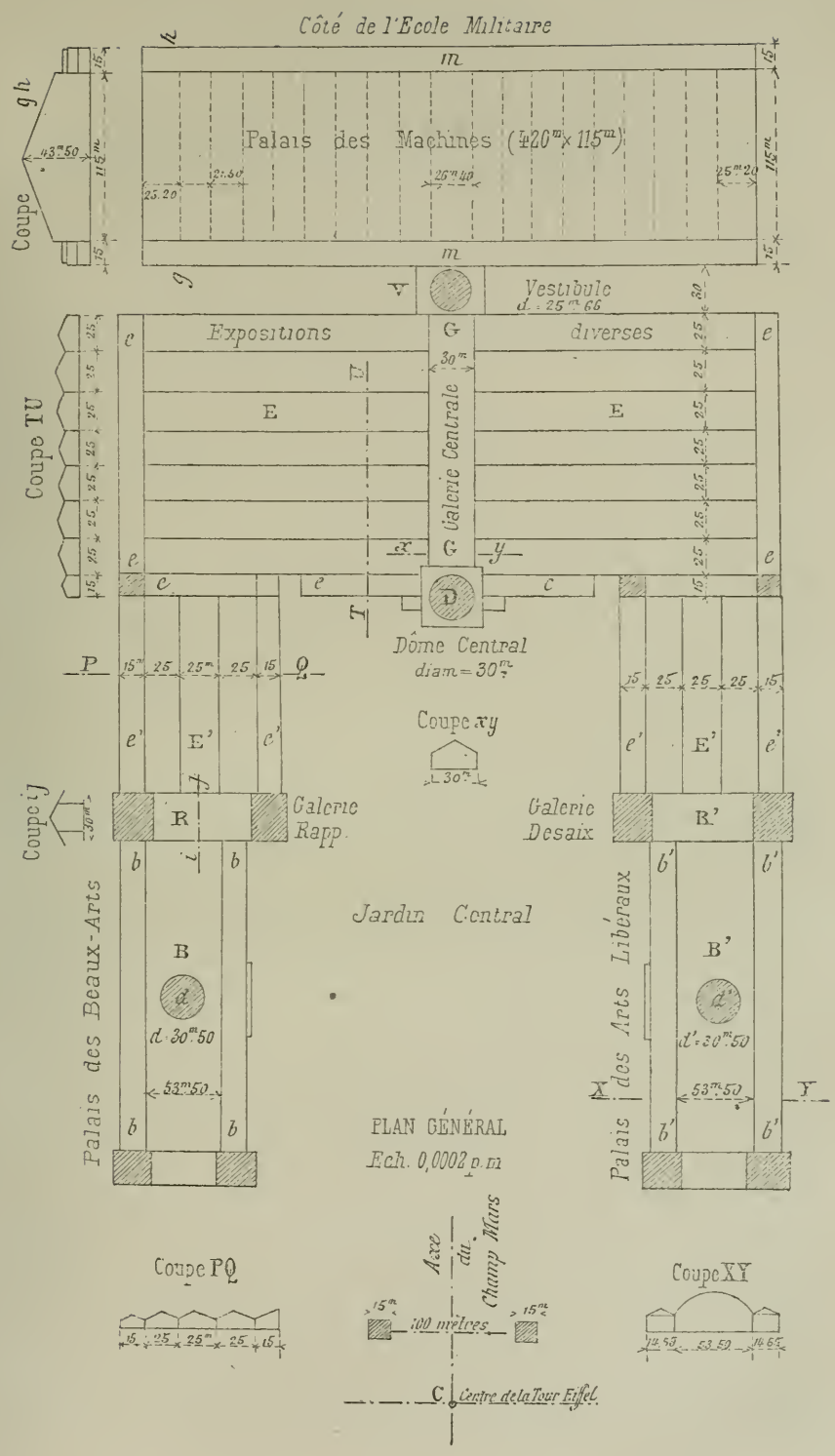
b', *b'* Deux petites galeries latérales de 15 mètres d'ouverture.

d' Dôme de 30^{m},50 de diamètre, surmontant le palais des Arts libéraux.

4° Tour Eiffel.

C Centre de la tour Eiffel.

Nous avons joint à ce plan quelques coupes verticales rappelant les silhouettes des fermes qui y sont figurées dont nous allons donner la description en suivant le même ordre que dans l'énumération précédente du plan.


Côté de l'Ecole Militaire
Palais des Machines (420m × 115m)
Coupe gh
Vestibule
d. = 25m 66
Expositions
diverses
Galerie Centrale
Coupe TU
Dôme Central
diam = 30m
Coupe xy
Coupe ij
Galerie Rapp.
Galerie Desaix
Jardin Central
Palais des Beaux-Arts
Palais des Arts Libéraux
PLAN GÉNÉRAL
Ech. 0,0002 p.m
Axe du Champ Mars
100 mètres
Coupe PQ
Coupe XY
Centre de la Tour Eiffel

PALAIS DES MACHINES

ARCHITECTE : M. DUTERT. — INGÉNIEUR : M. V. CONTAMIN. [1]

OSSATURE DU PALAIS.— DESCRIPTION DE LA FERME.

(Planches 23 à 36)

Le Palais des Machines comprend :

1° Une grande nef (dont le plan est rectangulaire) de 420 mètres de longueur sur 115^{m},30 de largeur. Ces deux dimensions sont mesurées extérieurement. L'ouverture libre (intérieure) mesure 106^{m},90.

2° En plus, deux galeries extérieures et latérales, règnent sur les longs côtés de 420 mètres du Palais des Machines. Ces galeries de 15 mètres de largeur comprennent un étage, situé à 8 mètres au-dessus du sol, qui permet de faire le tour du Palais des Machines, en passant à l'intérieur près deux verrières d'extrémités de la nef, sur deux tribunes adossées aux deux pignons et portées par des piliers métalliques.

Dans le premier projet de l'architecte, les galeries latérales de 15 mètres devaient régner sur les quatre côtés du Palais des Machines, et ce dernier devait être couvert par une voûte en arc de cloître barlongue, terminée par deux croupes extrêmes. On jugea que cette construction serait dispendieuse et la Commission de contrôle et de finances invita l'architecte à modifier son projet. Dès lors, il fut adopté de terminer le Palais des Machines par deux pignons verticaux et de constituer la grande ferme par des arcs métalliques, en ogive surbaissée franchissant la largeur de 115^{m},30 sans aucun appui intermédiaire, en laissant une hauteur sous clef de 43^{m},50.

On peut remarquer que cette grande hauteur de 43^{m},50 n'était pas nécessaire au point de vue de l'aménagement intérieur ; mais elle était une conséquence de la grande portée de 115 mètres. Ces grandes dimensions ont rendu manifeste la puissance de l'industrie française et le progrès de l'art des constructions métalliques.

Ces fermes au nombre de vingt, en comprenant celles d'extrémités, sont distantes de 21^{m},50 dans la partie courante du Palais, mais au milieu de la longueur de celui-ci, l'écartement des fermes est de 26^{m},40 et à chacune des extrémités du Palais, la distance des deux dernières fermes est de 25^{m},20.

1. Il a été donné dans la première partie, p. 21, l'historique de l'ensemble du palais des Machines, la description de ses fondations et les systèmes de montage de l'édifice.

On peut se faire une idée de l'emplacement libre du Palais des Machines en se représentant que la colonne Vendôme pourrait être dressée sous la clef de ses fermes et que le Palais de l'Industrie, aux Champs-Elysées, est moitié moins long et moitié moins large que le Palais des Machines. Ce dernier couvre donc une étendue superficielle quadruple de celle du Palais de l'Industrie.

La couverture du Palais des Machines est en zinc, le tiers inférieur est plein et les deux tiers supérieurs sont vitrés.

L'accès des galeries latérales et contigües au Palais des Machines et celui du premier étage se faisaient par quatre escaliers à double volée en fer, munis de marches en bois et rampe en fer forgé.

Un grand vestibule, surmonté d'une coupole, servait d'entrée au Palais des Machines. Ce vestibule était placé au milieu de la longueur du Palais sur le côté opposé à l'École militaire et reliait ce Palais à une galerie de 30 mètres de largeur et une longueur de 167 mètres, placée perpendiculairement au grand axe du Palais des Machines. Un escalier à double révolution reliait la petite galerie antérieure *m* du Palais des Machines à la Galerie centrale de 30 mètres. Dans cette galerie de 30 mètres, débouchaient, sur ses deux longs côtés, les quatorze galeries des industries diverses, divisées en deux groupes dont il sera parlé plus loin.

Revenons à la ferme métallique du Palais des Machines pour en compléter la description. Cette ferme, formée de deux volées, est articulée à son sommet et à chacun de ses deux pieds-droits. La portée d'axe en axe des rotules inférieures est de $110^{m},60$. Chaque volée est constituée par une poutre à caisson dont la dimension normale (à la naissance) est de $3^{m},70$. A son sommet, la hauteur de la poutre est réduite à 3 mètres.

Cette dimension est maintenue jusqu'à la première panne à partir de laquelle elle diminue graduellement jusqu'au sommet de la ferme où elle présente une hauteur verticale de 3 mètres.

L'épaisseur horizontale de cette ferme en caisson est un peu variable : $0^{m},70$ au sommet et $0^{m},90$ à la base, près du sol, c'est-à-dire un peu avant l'articulation inférieure. (Voir la planche 32-33, pour les détails d'assemblage de la ferme.)

La ferme présente, en profil, à l'intrados, deux âmes ou tôles de (450×9) millimètres qui laissent entre elles un intervalle de $0^{m},400$. Ces âmes sont reliées à l'intrados par des semelles de (750×7) millimètres qui règnent sur toute l'étendue des arcs et par quatre cornières de ($100 \times 100 \times 10$) millimètres. Dans la région de la ferme, la plus fatiguée, c'est-à-dire depuis le pied jusqu'à la deuxième panne (en montant), il y a six tôles de 8 millimètres d'épaisseur formant les semelles ou tables ; puis le nombre des tôles se réduit à quatre dont les longueurs vont en décroissant vers le sommet. Dans cette région, à l'intrados, il n'y a plus qu'une tôle de 11 millimètres d'épaisseur sur une longueur de $9^{m},30$

L'espace de $0^{m},400$, laissé entre les deux âmes, à l'intrados et à l'extrados a

permis de loger les croisillons inclinés et les montants normaux de la ferme, lesquels entretoisent les deux membrures de la ferme et fractionnent cette dernière en panneaux alternativement larges et étroits. Cette alternance produit un excellent effet au point de vue décoratif.

Cette inégalité des panneaux n'a pas empêché de placer à égale distance horizontale, de $10^m,59$, les pannes qui devaient être maintenues verticales à cause de leur grande hauteur et de leur grande portée, sans quoi il eut été difficile d'obtenir leur rigidité.

A l'extrados de la ferme, la sixième tôle a été supprimée et remplacée par deux cornières de $0^m,110 \times 0^m,110 \times 0^m,011$, qui ont servi à l'assemblage du tympan avec la ferme.

La planche 32-33 donne le détail des montants et des croisillons. Chaque montant est placé normalement à la courbure générale de l'arc. Il comprend une âme de $0^m,382 \times 0^m,007$, et quatre cornières de $(80 \times 60 \times 7)$ millimètres. Il s'assemble à l'extrados et à l'intrados de la ferme avec les deux âmes de cette dernière à l'aide de quatre cornières de $(70 \times 70 \times 7)$ millimètres.

Les croisillons sont, comme il a été dit, placés entre les âmes des poutres (ces dernières sont au nombre de quatre). Ils sont constitués chacun par une âme de $0^m,382 \times 7$ et de quatre cornières de $(80 \times 60 \times 7)$ millimètres.

Dans la région de la ferme, près des naissances, les croisillons et les montants sont renforcés. Le montant est constitué par une âme de $0^m,382 \times 0^m,007$, et de deux semelles de $0^m,200 \times 0^m,010$, le tout assemblé par des cornières de $70 \times 70 \times 10$ (millimètres).

Au sommet de la ferme, les panneaux supportent des efforts de compression très considérables, évalués à 119,840 kilogrammes, dans l'hypothèse d'un vent animé d'une vitesse de 50 mètres par seconde. Aussi, en cette région, la ferme a-t-elle été fortement consolidée.

Les pignons d'extrémité, sur les avenues de La Bourdonnais et de Suffren, comprennent des ossatures métalliques, formant rideaux, qui ont été richement décorées. La partie métallique a été exécutée par MM. Baudet et Donon, constructeurs.

Sur la membrure d'intrados de la ferme de 115 mètres, est fixée une échelle de service. Des trous d'homme, ménagés dans les montants de cette ferme, permettent de la visiter intérieurement dans toute son étendue. Au sommet, le dernier panneau présente un passage qui donne accès sur l'extrados de la ferme, où l'échelle de service se continue.

A sa base ou naissance, la poutre à caisson porte un coussinet en fonte par l'intermédiaire duquel elle repose sur une rotule en fonte ajustée au tour. Cette rotule est encastrée dans un sabot également en fonte, fixé sur une plaque de fondation ancrée très solidement dans un massif de maçonnerie. Des coins d'acier, chassés entre la plaque de fondation et le sabot, ont permis de régler rigoureu-

sement la position définitive de la ferme. Les articulations inférieures ont facilité le montage de la ferme.

Au sommet de la ferme, le pivot de l'articulation est en acier, et s'emboîte dans deux coussinets en fonte reliés aux deux volées de la poutre. Un collier en fer forgé enserre extérieurement les deux coussinets et s'oppose à leur écartement.

Les fermes sont entretoisées entre elles, au sommet par une poutre en treillis, par des arcs dans les régions moyennes, et à la partie inférieure par un chéneau.

Par demi-travée, cinq pannes soutiennent les rampants de la couverture et la partie vitrée. Ces pannes sont placées dans des plans verticaux. Elles s'assemblent avec l'âme des fermes au droit des panneaux du treillis.

Une panne spéciale supporte le chéneau. Cette dernière est formée par une âme de $1^m,05$ de hauteur sur $0^m,008$ d'épaisseur, par deux semelles de $0^m,300 \times 0^m,009$; le tout assemblé par quatre cornières de $70 \times 70 \times 7$ (millimètres). Des montants, constitués par une âme et quatre cornières, empêchent le voilement de cette poutre et servent en même temps à l'assemblage des chevrons du côté intérieur et des consoles de chéneau du côté extérieur de la grande nef.

Chaque ferme est à deux versants et porte au sommet deux pannes de faîtage qui supportent un terrasson de visite avec garde-fous. Ce terrasson est fixé invariablement à l'une des pannes, et peut se mouvoir au moyen de rouleaux qui se déplacent sur l'autre panne ; cette disposition permet la dilatation de la ferme.

On a calculé les pannes en les considérant comme des pièces reposant sur deux appuis, et recevant trois charges isolées : 1° la charge des chevrons ; 2° celle du vitrage porté par les chevrons ; 3° la charge uniforme de la panne. Ce calcul a conduit à lui donner au milieu de sa longueur une hauteur de $1^m,80$; on a fait varier la hauteur de la panne en la réduisant à ses deux extrémités, afin de satisfaire à des considérations de décoration.

Les pannes courantes ont la forme d'une poutre à treillis en N, dans laquelle les barres, qui travaillent à l'extension, sont deux fers plats de $0^m,120 \times 0^m,008$, moisant les deux âmes de $0^m,350$.

Les pannes qui portent les chéneaux sont constituées par une âme de $0^m,050$ de hauteur et de $0^m,008$ d'épaisseur, deux semelles de $0^m,300 \times 0^m,009$, le tout réuni par quatre cornières de ($70 \times 70 \times 7$ millimètres). En outre, des montants, comprenant une âme et quatre cornières, maintiennent le devers de cette poutre, et servent en même temps à assembler les chevrons du côté extérieur et les consoles du chéneau du côté extérieur de la grande nef.

Chaque travée est divisée en quatre parties par trois longerons assemblés aux pannes. Ces longerons reçoivent les petites pannes et les fers à vitrage de la couverture.

Latéralement, les fermes sont reliées entre elles par des poutres à treillis, au

niveau du plancher du premier étage des bas-côtés, et, sous le chéneau, par des arcs à treillis et des parties pleines avec châssis ouvrants.

Le poids d'une ferme courante est de 207 tonnes ; celui d'une travée de pannes, chevrons et fers à vitrage compris, est de 118 tonnes ; celui des éléments, formant parois verticales, tels que chéneaux, sablières, arc d'une travée, est de 48 tonnes et demie ; les formes de tête pèsent chacune 250 tonnes.

La grande nef a exigé 9 225 tonnes de fer. La surface d'appui de chaque rotule et la naissance de la ferme, étant au-dessous du coussinet, de 68 décimètres carrés, il en résulte que le poids des 9 225 tonnes était porté sur une surface de 28 mètres carrés, ce qui donne une pression moyenne de 329 kilogrammes par centimètre carré, c'est-à-dire 3 kil. 29 par millimètre carré. C'est une pression très faible, d'où il résulte une grande sécurité.

Rideaux en fer des pignons. — Ces rideaux métalliques constituent les deux pignons de la Galerie des Machines ; l'un sur l'avenue Suffren, l'autre sur l'avenue de La Bourdonnais. Ils ont été exécutés par MM. Baudet et Donon.

Description des chevrons de la grande ferme de 115 mètres. (Pl. 34-35.) — Les pannes sont entretoisées par trois cours de chevrons allant du faîtage au chéneau. Ces chevrons portent une série de petites pannes recevant les fers à vitrage. Il y ainsi trois chevrons entre deux pannes consécutives. Les pannes, comme il a été dit, sont verticales et ont une portée courante de $21^{m},50$, sauf pour la travée centrale qui est de $26^{m},40$ et pour les deux travées extrêmes qui sont de $25^{m},295$. Avec de telles longueurs, il était nécessaire d'entretoiser fortement les pannes pour les empêcher de se voiler.

Considérations sur les articulations des fermes.— Différence caractéristique entre une ferme à tirant et une ferme à articulations.— Dans une ferme à tirant horizontal, la poussée oblique de chaque arbalétrier est contrebalancée par le tirant qui est soumis à une traction longitudinale égale à la composante horizontale de la poussée oblique. Dans une ferme à articulation, comme celle de la grande Galerie des Machines, la poussée existe toujours et doit être détruite par le mode de fixation des pieds-droits, comme dans une culée de pont. Il en résulte que le pied-droit, c'est-à-dire l'articulation inférieure, doit reposer sur une construction en maçonnerie ne pouvant glisser et exigeant des soins particuliers.

La construction de ces petites fondations entraînent à des dépenses qui peuvent cependant être inférieures à celles d'un tirant. Ainsi, suivant M. Alfred Picard, inspecteur des Ponts et Chaussées, la poussée horizontale dans la grande ferme de la Galerie des Machines, pouvant dépasser 120 000 kilogrammes la section du tirant à raison d'un effort de 4 kilogrammes par millimètre carré eût été de 30000 millimètres carrés et ce tirant eût pesé

avec ses couvre-joints 35000 kilogrammes. La dépense y compris les supports, les caniveaux et les regards (parce que nécessairement ce tirant eût été placé sous le sol) eût été supérieure à 15000 francs. Or, le prix moyen de deux culées n'a pas dépassé 8500 francs par ferme. Il y avait donc ici économie à supprimer les tirants. Cependant, il faut tenir compte que l'agencement de l'articulation inférieure est dispendieuse et exige une construction particulière.

Galeries latérales du Palais des Machines. — Ces galeries de $17^m,50$ de largeur s'étendent seulement sur les deux longs côtés (de 115 mètres) du Palais des Machines. Leur hauteur est de 22 mètres. Leur ossature est constituée par deux séries d'arcs en fer. Une série comprend des arcs placés dans le plan même des grandes fermes du Palais des Machines. Chacun de ces arcs est assemblé avec la partie verticale du tympan de la ferme de 115 mètres. Les autres arcs, formant une autre série, sont placés perpendiculairement aux premiers, c'est-à-dire parallèlement au grand axe du Palais des Machines.

Les travées de la Galerie des Machines présentent, comme il a été dit, trois sortes de dimensions : $21^m,50$ pour les travées courantes, $25^m,295$ pour les deux travées extrêmes et $26^m,40$ pour la travée centrale. Les arcs en façade des galeries latérales représentés, (Pl. 36, 37, 38) ont aussi trois dimensions différentes correspondant aux précédentes.

Les galeries latérales de 15 mètres sont divisées dans leur hauteur par un plancher, situé à 8 mètres au-dessus du sol. Ce plancher porte de vastes tribunes d'où la vue peut s'étendre dans le Palais des Machines.

L'arc en façade est constitué par une tôle découpée suivant le profil de l'arc et dont les deux membrures supérieure et inférieure sont formées par deux cornières de $(80 \times 80 \times 9)$ millimètres et par une semelle de $0^m,300 \times 0^m,008$. Ces membrures sont réunies de distance en distance par des montants qui donnent de la raideur au système et qui servent à attacher les consoles en tôle et cornières, supportant le couronnement de la membrure supérieure des arcs.

Les pieds-droits des arcs en façade sont identiques à ceux des arcs intérieurs. Ces pieds-droits portent une poutre pleine horizontale qui repose sur deux colonnes intermédiaires.

Cette poutre reçoit les solives du plancher. Au-dessus de cette poutre horizontale, en façade, se trouve un remplissage en briques qui porte les verrières, lesquelles permettent d'éclairer le premier étage des galeries latérales.

Vitrage, couverture et parquetage du Palais des Machines. — Il a été dit que la couverture de la grande nef des machines est en partie pleine et en partie vitrée. Les zones pleines comprennent, d'une part, les deux travées extrêmes et, d'autre part, sur chaque versant, l'espace compris entre les chéneaux et la première panne en montant.

Ces zones pleines se composent de petites pannes en fer portant un chevronnage en bois ; par dessus, il y a un voligeage à la partie supérieure du chevronnage et à sa partie inférieure un plancher qui a servi à l'applique des toiles peintes et des staffs, formant la décoration intérieure de la voûte de la grande nef.

Les parties pleines de la couverture sont des feuilles de zinc de 2 mètres sur $0^m,80$ s'agrafant l'une sur l'autre à pli vif sans entailles. Chaque feuille de zinc est maintenue en tête par deux pattes d'agrafe en zinc et, sur chacun des reliefs de côté, par deux pattes passant sous le tasseau et rabattues sur le relief. Les couvre-joints d'un mètre de longueur sont fixés dans des gaînes à dilatation.

Au sommet de la ferme de 115 mètres est établi un chemin de faîtage en zinc pouvant servir aux réparations.

La zone vitrée de la grande nef est couverte de feuilles de verre, striées sur leur face inférieure, de 5 millimètres d'épaisseur et de $1^m,90$ à 2 mètres de longueur sur $0^m,506$ de largeur. Elles sont posées latéralement sur de petits fers à T (⊥) soutenus par des pannes en fer. On a eu soin de laisser, entre les lames de verre et les pannes, un vide qui permet la ventilation et l'écoulement des eaux de condensation produites par la buée intérieure.

Sur place, les verres ont été dépolis au moyen d'une mixture de lait et de blanc de Meudon.

Sur les deux pignons, aux extrémités de la grande nef, les verres sont teintés afin d'atténuer l'éclat de la lumière.

La coupole du vestibule central du Palais des Machines dont on a parlé ci-dessus se termine à sa base par un chéneau circulaire en zone. Les pendentifs et les voussures sont revêtus de feuilles de plomb.

L'écoulement des eaux pluviales a fait l'objet d'études minutieuses pour toutes les constructions de l'Exposition.

Pour la Galerie des Machines, cet écoulement est assuré par deux chéneaux parallèles à son axe et placés en bas du vitrage de la grande nef, ces chéneaux ayant leurs points bas sur l'extrados des grandes fermes ; d'autres rigoles secondaires et d'autres chéneaux des descentes placés sur les façades extérieures complètent ce service important.

Le parquetage du rez-de-chaussée de la Galerie des Machines était constitué par des frises de sapin, clouées sur des lambourdes. Ces dernières étaient placées sur le sol et consolidées par des piquets de chêne, disposés en quinconce.

Au premier étage des galeries latérales, les lambourdes portant les frises, étaient simplement posées sur les solives en fer et maintenues au moyen de cales en bois.

Dépenses se rapportant au palais des Machines.

Terrassements et maçonnerie.	533.989 fr.
Constructions métalliques.	5.533 189

Charpente en bois, menuiserie, carrelage et parquetage.	335.458 (1)
Couverture et plomberie	256.503
Vitrerie	219.695
Décoration. — Sculpture et peinture	428.178
Travaux divers.	39.682
Frais d'agence.	194.377
Total. . .	7.541.071 fr.

Cette dépense fait ressortir le prix du mètre carré couvert à 121 francs.

Si l'on se reporte au plan général, on voit figuré en V, en avant de la grande Galerie des Machines, le vestibule qui lui sert d'entrée. Nous allons donner quelques détails de construction de ce vestibule.

Coupole du Vestibule d'entrée du Palais des machines.

(Planches 43-44)

La galerie centrale de 30 mètres est reliée à la grande galerie de 115 mètres des machines par un pavillon ou vestibule rectangulaire de $30 \times 36^m,80$ surmonté d'un dôme de $25^m,66$ de diamètre.

Ce pavillon est muni, de chaque côté, de deux arrières voussures de $4^m,60$ de profondeur.

Chacune de ces voussures abrite un escalier monumental qui aboutit aux tribunes du premier étage du Palais des Machines.

Ce vestibule de raccordement est situé au milieu de la longueur (420 mètres) du palais, du côté opposé à l'Ecole Militaire, entre la Galerie des Machines dont il forme l'entrée monumentale et la Galerie centrale de 30 mètres. Ce vestibule est surmonté d'une coupole surbaissée. Son ossature métallique est constituée par quatre grands piliers de 22 mètres de hauteur, portant par l'intermédiaire de quatre arcs métalliques qui s'appuient sur eux, une ceinture en fer de $25^m,66$ de diamètre, soutenue sur le milieu de chacun des quatre arcs.

Le poids d'une partie de cette ceinture est reporté directement sur les quatre piliers par l'intermédiaire de contre-forts métalliques qui forment avec le dessous de la ceinture quatre voûtes en pendentifs. La coupole de l'édifice comprend seize fermes qui butent par leur partie supérieure sur une ceinture métallique de 10 mètres de diamètre, laquelle porte un lanterneau d'aération. Ce lanterneau comprend aussi seize fermes.

Les fermes de la coupole et celles du lanterneau sont entretoisées par des pannes circulaires qui portent les fers à vitrage et le chevronnage. La couver-

1. Il faut ajouter à cette somme 63.038 francs, mis à la charge des exposants.

ture est en zinc. Le comble présente un double plafond vitré. Les bas côtés et le vestibule central ont employé 3 530 tonnes de fer.

La coupole a été montée par MM. Moreau frères.

LA GALERIE CENTRALE DE 30 MÈTRES
LE DOME CENTRAL
LES PALAIS DES INDUSTRIES DIVERSES

Le plan général, page 93, du Champ de Mars montre que le Palais des Machines occupe le fond de ce plan (côté de l'École Militaire). En venant du pont d'Iéna et en suivant l'axe du Champ de Mars, on aperçoit le dôme central D qui sert d'entrée monumentale à une galerie de G G de 30 mètres de largeur et de 167 mètres de longueur, qui était la grande artère centrale de l'Exposition. Cette galerie centrale conduit au Palais des Machines, en débouchant sous la coupole du vestibule de ce Palais, coupole dont la description a été donnée ci-dessus.

La galerie G G de 30 mètres séparait en deux groupes identiques les Palais des industries diverses dont les galeries E, E' débouchaient dans cette galerie de 30 mètres. Chaque groupe comprenait sept galeries de 25 mètres d'ouverture, placées parallèlement à la Seine.

Au pourtour des galeries de 25 mètres, le plan général montre sur trois côtés vers la Seine (l'avenue de Suffren à droite et l'avenue de La Bourdonnais à gauche) des galeries *e*, *e*, *e* de 15 mètres qui étaient affectées à des restaurants et à d'autres établissements analogues.

Nous allons examiner ces diverses galeries au point de vue de la construction métallique, en suivant l'ordre de leur importance.

Galerie centrale de 30 mètres

(M. Bouvard, architecte).

(Planches 43-44)

La longueur de cette galerie est de 167 mètres ; sa superficie est de 5 000 mètres carrés environ.

Cette galerie comprenait sept fermes reposant sur des piliers métalliques présentant un espacement de 25 mètres; cet espacement répondait en même temps à l'ouverture des galeries des industries diverses, distribuées comme il a été dit, à gauche et à droite de la galerie centrale de 30 mètres.

La ferme de 30 mètres présente, à l'intrados, la forme d'une ogive surbaissée,

composée de deux arcs de cercle se raccordant entre eux, l'un à la base de $8^m,34$ de rayon et l'autre à la partie supérieure de $28^m,20$ de rayon. La flèche est de 11 mètres 80.

L'extrados de cette ferme est à deux pans rectilignes. Le poids de la ferme est de 28 400 kilogrammes.

La hauteur des piliers en fer est de $12^m,75$. La hauteur sous clef est de 24 mètres.

Les fermes sont reliées entre elles par sept cours de pannes de 25 mètres de longueur et par deux pans de fer longitudinaux, commençant seulement à partir de 8 mètres au-dessus du sol pour aller jusque sous le chéneau. Ces pans de fer portent les pannes des fermes de 25 mètres des galeries des industries diverses.

Par travée, il y a un cours de 14 chevrons en fer.

Les membrures de la poutre de 30 mètres comprennent, à l'extrados, une âme $0^m,400 \times 0^m,009$, deux cornières de $100 \times 100 \times 10$ (millimètres) et une semelle de $0^m,450 \times 0^m,008$.

Au faîtage, on a renforcé les sections au moyen d'une âme pleine de 9 millimètres, reliée aux âmes des membrures par quatre goussets en tôle de $0^m,010$ d'épaisseur.

Les deux membrures d'intrados et d'extrados sont réunies entre elles, par un système de montants en fer à T et de treillis en fer plat et de fer à T suivant que les barres de treillis sont tendues ou comprimées.

Les calculs de cette ferme ont été faits d'après une charge accidentelle de 50 kilogrammes par mètre carré de toiture, non compris le poids de l'ossature.

Pannes et chevrons de la Galerie de 30 mètres. —

Les pannes ont une portée de 25 mètres. Elles sont constituées par une poutre à treillis en forme de N dont la hauteur totale est de $1^m,10$ et dont les semelles ont 8 millimètres d'épaisseur, le tout réuni par quatre cornières de $125 \times 70 \times 11$ (millimètres). Le treillis est constitué par des fers plats de 100×10 (millimètres), rivés entre les quatre cornières.

Dans le voisinage des appuis, le treillis a été renforcé et il est constitué par deux fers plats de 100×7 (millimètres).

Les montants de la panne, distribués dans toute sa longueur sont constitués par des cornières de $70 \times 70 \times 9$ (millimètres). La panne faitière est renforcée; les semelles supérieures et inférieures ont 15 millimètres d'épaisseur. Cette panne porte le lanterneau qui a pour fonction d'aérer la galerie de 30 mètres.

Ce lanterneau a une longueur de $3^m,56$. Il est constitué par des poutrelles en fers cornières de $70 \times 70 \times 7$ (millimètres), portées par des montants en fers cornières de $50 \times 70 \times 7$ (millimètres), assemblés avec les chevrons.

Les fers cornières précités portent des chevrons en bois qui reçoivent une couverture en zinc.

Cette galerie prenait jour par des verrières comprises entre le dessous des chéneaux de cette même galerie et le faîtage des galeries de 25 mètres.

Piliers métalliques.

Les piliers qui reçoivent les extrémités des fermes ont $12^m,75$ de hauteur. Ils sont constitués, comme pourrait l'être une poutre proprement dite, de deux âmes pleines de $0^m,800 \times 0^m,008$, de deux semelles verticales, le tout assemblé par quatre cornières.

Ces piliers sont entretoisés entre eux, deux à deux, dans le sens parallèle à l'axe de la galerie de 30 mètres par une double poutre en treillis de $0^m,50$ de hauteur, placée à la hauteur de 8 mètres. Cette poutre double, qui porte le pan de fer des faces latérales, est soulagée en deux points intermédiaires par deux piliers en tôle de $0^m,28 \times 0^m,30$. Enfin, les piliers reçoivent dans le sens perpendiculaire à l'axe de la galerie de 20 mètres, les abouts des entretoises doubles des piliers portant les fermes de 25 mètres des galeries des expositions diverses.

Pans de fer de la Galerie centrale de 30 mètres.

Ces pans de fer limitent latéralement la galerie de 30 mètres. Ils sont portés par les poutres doubles à treillis de $0^m,50$ de hauteur, entretoisant les piliers métalliques de la galerie de 30 mètres. Ces pans de fer sont constitués par une ossature métallique formée de fer à double T, placés verticalement et espacés de $1^m,666$ (d'axe en axe). Le remplissage est en briques, posées sur la poutre de $0^m,50$ de hauteur.

La construction métallique de la galerie de 30 mètres a été confiée par moitié à M. Roussel, constructeur, et à la Société des Forges de Franche-Comté. Le poids des fers de cette galerie est de 833 tonnes et la dépenses s'est élevée à 306,500 francs pour une surface couverte de 5000 mètres carrés; ce qui donne par mètres carré 166 kilogrammes de fer et une dépense de 61 francs.

Le Dôme central des Expositions diverses

(Planches 53-54)

Architecte, M. Bouvard. — *Constructeur*, M. Moisant.

Ce dôme, ainsi qu'il a été dit, sert d'entrée monumentale à la galerie centrale de 30 mètres qui conduit au Palais des Machines.

Ce dôme a 30 mètres de diamètre et une hauteur totale de 65 mètres et 55 mètres intérieurement.

Il est établi sur un plan carré et il ne prend la forme circulaire qu'à partir d'une certaine hauteur. Il est porté au moyen de grandes consoles reposant sur huit piliers accouplés deux à deux.

On y accède par un vaste porche flanqué de deux tours carrées.

L'entrée du porche est en forme d'arc ogival surbaissé.

A l'extérieur est un balcon en encorbellement, ainsi que le montre la fig. 1 ; à droite et à gauche de la façade, sont deux pavillons carrés englobés chacun par quatre pylônes.

A l'intérieur du dôme et à la hauteur de 8 mètres au-dessus du sol se trouve un balcon qui contourne le dôme et qui permet de voir, d'un côté, la galerie de 30 mètres et la partie centrale du Palais des machines et, du côté opposé, la Tour Eiffel et le Palais du Trocadéro.

On accède à ce balcon au moyen de quatre escaliers établis dans les pylônes.

La construction métallique du Dôme Central comprend huit demi-fermes principales s'étendant depuis le sol jusqu'au sommet de la coupole. Ces huit demi-fermes sont accouplées deux par deux et s'appuient sur une ceinture dont la crête est à la hauteur de 55 mètres. A 8 mètres au-dessus du sol, se trouve une première série d'arcs horizontaux formant un cercle de 30 mètres d'ouverture reliant toutes les fermes et portant le plancher du premier étage des pavillons latéraux ainsi que le balcon intérieur du dôme. A 17 mètres au-dessus de ce premier étage se trouve une deuxième série d'arcs horizontaux portant huit demi-fermes intermédiaires. Toutes les fermes sont réunies de distance en distance jusqu'au sommet par des ceintures horizontales qui produisent la rigidité de l'ensemble.

Les demi-fermes principales inférieures sont constituées par des caissons mesurant $1^m \times 0^m,80$. Les caissons des demi-fermes intermédiaires ont $0^m,75 \times 0,^m50$,

Des pans de fer relient les pylônes et maintiennent les murs en briques de $0^m,22$ d'épaisseur, formant clôture et parement extérieur.

Les deux pavillons dont il a été parlé sont divisés en deux étages par un plancher placé à une hauteur de 8 mètres au-dessus du sol. Ce plancher se raccorde avec le plancher intérieur du balcon circulaire, faisant le tour de la nef centrale et qui est soutenu en encorbellement par les consoles portées par la première ceinture métallique.

Le Dôme Central et les constructions métalliques attenantes ont employé 1 046 000 kilogrammes de fer pour une surface couverte de 1871 mètres carrés.

La dépense s'est élevée à 506 400 francs ; ce qui donne 270 francs par mètre carré couvert.

Mode de calcul des éléments métalliques du Dôme Central.

Dans le calcul, on n'a pas tenu compte du calage produit par les pavillons latéraux et par la Galerie centrale de 30 mètres.

Les bases du calcul ont été :

1° Une charge de 200 kilogrammes par mètre superficiel du dôme, représentant le poids de la couverture ; 2° une charge de 200 kilogrammes par mètre carré pour tenir compte du poids des hourdis garnissant les pans de fer circu-

laires ; 3° enfin, 120 kilogrammes par mètre carré pour tenir compte de l'action du vent.

Pour les demi-fermes principales, on a tenu compte de la charge du plancher des pavillons latéraux dont une partie incombe à ces demi-fermes. La charge de ces planchers était évaluée à 800 kilogrammes par mètre carré.

Le travail du fer a varié de 7 à 11 kilogrammes par millimètre carré.

Pour les fermes principales, on a considéré l'ensemble de deux demi-fermes opposées comme si chaque élément était articulé à sa base et à l'intersection de son prolongement avec l'axe du dôme. Pour les fermes intermédiaires, chaque élément a été considéré comme présentant à sa base un appui simple et une articulation au faîtage.

Le Palais des Expositions diverses.

Architectes : MM. Bouvard, Dutert et Formigé.
Ingénieurs : MM. Contamin, Charton et Pierron.
(Planches 40, 41 et 42)

Comme il a été dit, les galeries des expositions diverses étaient au nombre de 14, distribuées en deux groupes E, E (voir plan, page 93) établis à gauche et à droite de la Galerie centrale de 30 mètres dans laquelle débouchaient lesdites galeries.

D'autres galeries de 25 mètres E', E' complétaient celles des expositions diverses.

L'ossature métallique de ces galeries de 25 mètres d'ouverture comprenait exclusivement des fers laminés du commerce. Cet emploi répondait à une économie résultant de la facilité de revendre les matériaux après l'Exposition.

L'espacement des fermes était de $8^{m},333$. Elles étaient établies sur des piliers métalliques rectangulaires de 8 mètres de hauteur ; ces derniers étaient constitués par des lames de tôle sur deux de leurs faces et par des croisillons sur les deux autres faces.

Les fermes avaient trois mètres de flèche et ne présentaient point de tirant. Le trait caractéristique de cette ferme, c'est de ne présenter aucune disposition pouvant s'opposer à l'écartement de ses pieds. Sa résistance et sa rigidité sont dues à sa forme et à ses assemblages. Le sommet qui a la forme d'un V renversé (A) très ouvert, doit être assez rigide pour s'opposer à toute déformation dangereuse. Bien que chaque groupe de sept fermes placées à côté les unes des autres, s'arcboutent naturellement, il y en a nécessairement deux qui forment ligne de rive et dont l'équilibre doit être assuré.

Les sections variables de la ferme sont en rapport avec les efforts qui la sollicitent; ces derniers vont en augmentant depuis le pied jusqu'au sommet, ainsi que les panneaux constitutifs de la poutre.

Chaque pilier en tôle porte au moyen de consoles les abouts de deux fermes contiguës, placées dans le même plan vertical. Entre les abouts de ces fermes, on a ménagé à la partie supérieure du pilier un intervalle de $0^{m},65$ pour l'emplacement du chéneau. Chaque pilier en tôle pèse 1 480 kilogrammes. Il reposait directement sur un massif de maçonnerie. Le creux des piliers était utilisé pour le passage des conduites d'eau, de gaz et des fils télégraphiques.

Neuf cours de pannes métalliques formaient le contreventement des fermes.

Chacune des galeries de 25 mètres était surmontée d'un lanterneau.

La construction des fermes de ces galeries de 25 mètres a fait l'objet de quatre lots d'entreprise, confiés à la Société des Ponts et Travaux en fer, à la Société des Travaux de Saint-Denis, à la Société des Forges de Franche-Comté et à M. Roussel, entrepreneur.

Voici les documents numériques se rapportant aux constructions métalliques des galeries de 25 mètres :

Poids total de l'ossature.	9.357.050 kilogrammes.
Dépense totale.	3.270.680 francs.
Surface couverte	106.531 mètres carrés.
Volume abrité.	1.292.647 mètres cubes.
Dépense par mètre carré couvert. . .	30 fr. 70.
Dépense par mètre cube abrité. . . .	2 fr. 53.

ANNEXES DES GALERIES DES EXPOSITIONS DIVERSES. GALERIES DE 15 MÈTRES D'OUVERTURE

(Planches 41-42)

(*Voir le plan*, p. 93).

Ces galeries *e*, *e* prenaient place aux extrémités et en dehors des galeries de 25 mètres dont il vient d'être parlé ci-dessus. Elles étaient placées parallèlement aux avenues de Suffren et de La Bourdonnais. Les fermes de ces galeries, qui avaient une portée de 15 mètres, étaient analogues aux fermes de 25 mètres, décrites ci-dessus. Leur espacement de $8^{m},333$ était le même que celui des fermes des Palais des expositions diverses.

Ces galeries de 15 mètres formaient promenoir couvert et abritaient des restaurants et autres établissements accessoires.

Du côté du jardin central, ces galeries n'avaient qu'un seul pan.

Dépense des fermes de 15 *mètres d'ouverture.* — Le poids de l'ossature

métallique a été de 452 tonnes, et la dépense s'est élevée à 166 000 francs pour une surface couverte de 9 300 mètres carrés, ce qui donne, pour le prix du mètre carré, 17 fr. 86.

PAVILLONS DE RACCORDEMENT

Nous donnons, planche 51-52, la disposition d'un des quatre pavillons de raccordement des galeries latérales de 15 mètres, contiguës aux galeries de 25 mètres, avec celles de 15 mètres, parallèles à la Seine.

L'ossature métallique est constituée par quatre piliers carrés d'un mètre de côté, portant le comble du pavillon. Ces piliers sont entretoisés, à leur partie supérieure, par une poutrelle en treillis. Le comble des pavillons s'élève à 58 mètres. Il est formé par des croupes droites dont les fermes sont constituées par des poutres en treillis.

Les deux pavillons du côté du jardin central avaient $15^m \times 16^m,66$, tandis que les pavillons de l'avenue de La Bourdonnais et de l'avenue de Suffren avaient 15 mètres de côté.

Le poids des quatre pavillons a été de 513 tonnes pour une surface couverte de 930 mètres carrés. La dépense a été de 194 600 francs, ce qui donne 209 francs par mètre carré.

Palais des Beaux-Arts & des Arts Libéraux.

Ces palais sont érigés dans le Champ de Mars de chaque côté de l'axe longitudinal dans la partie située entre le Palais des Machines et la Tour Eiffel. En regardant du côté du Palais des Machines, le Palais des Beaux-Arts est à gauche et le Palais des Arts libéraux à droite. Les axes de ces deux palais sont perpendiculaires à la Seine.

Chacun de ces palais comprend une grande nef centrale de $53^m,50$ d'ouverture et de $28^m,20$ de hauteur sur une longueur de $289^m,30$ et deux galeries de $14^m,55$ de largeur.

Ces galeries secondaires enveloppent la nef centrale sur les deux faces perpendicaires à la Seine. Du côté de l'École militaire, deux vestibules de 120 mètres de longueur sur 30 mètres de largeur, désignés sous les noms de Galerie Rapp et Galerie Desaix, rattachaient les Palais des Arts aux Palais des Industries diverses.

Chaque palais est surmonté au milieu de sa longueur d'un dôme de 56 mètres de hauteur qui dépasse de 30 mètres le faîtage de l'édifice.

Les fermes de chaque palais sont distantes d'axe en axe de $18^m,10$. Chaque

ferme est formée par la réunion de deux volées présentant à leur sommet un espace de $0^m,45$ occupé par l'articulation supérieure. La ferme présente deux autres articulations aux naissances. Chaque ferme pèse 55 tonnes.

Le profil intérieur de la ferme comprend à sa partie inférieure une portion rectiligne de 15 mètres de hauteur, suivie d'un arc dont la flèche est de $13^m,50$. L'extrados est un arc de cercle de $91^m,45$ de rayon.

Chaque ferme est articulée à son sommet et à ses deux naissances.

Au faîtage, deux pannes supportent un chemin pouvant servir à la visite et aux réparations. Les pannes sont distantes de $1^m,70$; elles sont reliées par des chevrons qui portent des pannes secondaires recevant la partie vitrée.

Cette ferme de $53^m,50$ d'ouverture est portée par des piliers en tôle à base carrée de 21 mètres de hauteur. Ces piliers sont réunis à leur partie supérieure par des arcades à treillis, placées parallèlement à l'axe horizontal du palais.

GALERIES LATÉRALES DES PALAIS DES BEAUX-ARTS ET DES ARTS LIBÉRAUX FERMES DE $14^m,55$ DE PORTÉE

(Planches 47-48)

Les deux galeries latérales sont composées de fermes de $14^m,55$ de portée espacées de $9^m,05$. Ces petites galeries présentent donc des espacements moitié de ceux des fermes de la Galerie centrale de $53^m,50$ d'ouverture pour laquelle l'espacement des fermes est de $18^m,10$, ainsi qu'il a été dit ci-dessus.

Les fermes des galeries latérales (de $14^m,55$) sont fixées par des consoles, d'une part, au pied-droit de la ferme de 50 mètres et, d'autre part, en façade sur un pilier carré de $17^m,50$ de hauteur et de $1^m,10$ de côté. L'écartement de ces fermes étant de $9^m,05$, on a établi au milieu de l'espacement de $18^m,10$ des grandes fermes de la grande galerie un pilier de $0^m,60 \times 0^m,80$ qui monte jusqu'au chéneau et qui porte la petite ferme de $14^m,55$.

Les fermes sont entretoisées par un système de sept pannes dont cinq portent le lanterneau. Les montants de ce lanterneau sont formés par deux fers à U, fixés sur la membrure supérieure de la panne. Ces fers à U laissent entre eux un espacement de 6 millimètres qui reçoit la nervure d'un fer horizontal à simple T de ($60 \times 60 \times 6$) millimètres sur lequel viennent se fixer les fers à vitrage au moyen de deux cornières.

Les pannes ont la forme de poutre à treillis en N se composant de fers plats et de fers-cornières.

L'assemblage de ces pannes avec les fermes se fait par un gousset en tôle de 6 millimètres d'épaisseur, réuni à la ferme par deux cornières de ($60 \times 60 \times 6$) millimètres.

Le tirant horizontal traverse une pièce en fer forgé, munie de deux écrous qui servent au réglage de la longueur du tirant. A chacune des extrémités du tirant, deux pièces de fer plats de $0^m,060 \times 0^m,018$ embrassent la ferme et sont réunies au tirant rond de 34 millimètres de diamètre. A sa partie inférieure, l'aiguille verticale soutient le tirant horizontal au moyen d'une simple chape en fer plat.

LES GALERIES RAPP ET DESAIX. — FERMES DE 30 MÈTRES

(Planches 49-50)

Ainsi que le montre le plan (p. 93) les galeries Rapp et Desaix, en prolongement l'une de l'autre, formaient une artère de traverse dans le Champ de Mars permettant au visiteur de se diriger, soit dans l'un ou l'autre des Palais des Expositions diverses ou des Palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux. Ces deux Galeries, qui étaient identiques, servaient de passage comme il a été dit ci-dessus et étaient en même temps utilisées comme salles d'exposition pour des objets de petites dimensions : sculptures, peintures, photographies.

La description suivante se rapporte à la disposition des fermes métalliques de la Galerie Rapp; mais elle est applicable à la Galerie Desaix, puisque ces deux galeries sont identiques.

L'ossature de chacune de ces deux Galeries est constituée par des fermes de 30 mètres d'ouverture reposant du côté des Palais des Expositions diverses sur des murs en maçonnerie et du côté des Palais des Beaux-Arts, pour la partie commune à ce Palais et à la Galerie Rapp, sur des piliers métalliques à base carrée de $1^m,18$ de côté, lesquels portent en même temps les verrières du pignon du Palais des Beaux-Arts.

Quant à la partie de la Galerie qui avance sur le jardin central, les fermes reposaient à leurs extrémités sur des murs en maçonnerie; en même temps, ces fermes étaient soutenues à 10 mètres de l'axe de la Galerie, par des colonnes en fonte de $18^m,44$ de hauteur qui portaient la presque totalité de la charge des fermes. Cette disposition a permis de donner aux murs une faible épaisseur.

Les deux arbalétriers de chaque ferme sont reliés à l'aplomb des colonnes en fonte par un tirant double horizontal qui détruit entièrement la poussée. Ce tirant a 20 mètres de longueur et est soutenu en son milieu par une forte aiguille de suspension, fixée au faîtage.

La Galerie Rapp de $117^m,80$ de longueur présentait quatre sortes de travées : deux travées extrêmes de $4^m,70$, sept travées de $9^m,20$, deux travées de 14 mètres et quatre de 4 mètres. Cette diversité d'espacement des fermes a été motivée par des conditions architecturales : ainsi il était nécessaire de faire correspondre

les grandes lignes du Palais des Beaux-Arts avec celles de la Galerie Rapp ; de même il était nécessaire de faire concorder les galeries latérales du Palais des Beaux-Arts avec les colonnes de la Galerie Rapp. Les fermes étaient à treillis.

FONDATIONS DES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES DANS LE CHAMP DE MARS

Nous avons donné, page 23, avec beaucoup de détails, la marche suivie dans les fondations du Palais des Machines. Nous donnons ici un aperçu des autres fondations dans le Champ de Mars.

Sondages. — Le Champ de Mars étant désigné pour recevoir la plus grande partie des constructions, il fallut d'abord se rendre compte de la stratification des terrains, au moyen de sondages. Le système de fondations à adopter dépendait en effet des résultats fournis par la sonde.

Une première série de cinquante puits furent creusés à des profondeurs variant de 6 à 9 mètres.

Ces puits traversèrent tout d'abord une couche de remblais, puis de sable. — Neuf de ces puits furent continués à la sonde. A $7^{m},50$ environ, on rencontra une nappe aquifère et à une dizaine de mètres l'argile plastique. On poussa les premiers sondages jusqu'à 15 mètres.

Les couches du Champ de Mars étant peu compactes, on se servit principalement d'une tarière actionnée par une manivelle. — Au fur et à mesure de l'avancement, on tuba les trous de sonde pour retenir les terrains de nature ébouleuse. On procéda ensuite au nivellement général du Champ de Mars.

Palais des Machines. — L'emplacement destiné à supporter les grandes fermes du Palais des Machines, devait offrir plus que tout autre point du Champ de Mars une sécurité absolue. — Les premiers sondages avaient donné quelques doutes sur la stabilité des couches sous-jascentes ; aussi fut-on obligé de procéder à une nouvelle série de sondages qui furent dirigés sur les deux lignes des piliers des fermes. — Chacun de ces piliers, au nombre de 20, devait en effet supporter une pression verticale dépassant 100 tonnes.

L'un de ces sondages fut poussé à 35 mètres et descendit à cette profondeur de $0^{m},30$ brusquement dans la craie blanche.

Fondations. — Les fondations du Champ de Mars comprennent plusieurs types :

Les galeries des Expositions diverses forment un ensemble plus important, comme surface couverte, que les autres palais, mais les fondations en sont

moins considérables, attendu que les fermes qui composent ces galeries n'ont qu'une portée de 25 mètres.

Les fondations des piliers de ces fermes sont établies sur la couche de sable à une profondeur moyenne de 5 mètres. Ce sont des puits remplis de béton, affectant en plan la forme d'ovales aplatis de 2 mètres sur 1 mètre.

Ces massifs sont surmontés de têtes de pieux sur lesquelles ont été construites des chapes en ciment de $0^{m},04$ d'épaisseur, formant une surface parfaitement horizontale, dont le contact intime avec le pilier est assuré par une plaque de plomb.

Les piliers extérieurs des nefs principales sont reliés entre eux par des arcs en maçonnerie.

Tout autour du jardin central, des tranchées de 3 mètres de profondeur sur 7 mètres de largeur, ont été creusées pour servir de caves.

Fondation du palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux. — Ces deux palais sont identiques au point de vue des fondations. Symétriquement placés et se faisant face en bordure du jardin central, ils affectent tous les deux la forme des grandes fermes du palais des Machines précédemment décrits, mais ils s'en distinguent dans l'ensemble par l'adjonction d'un dôme central qui domine chacun d'eux.

Autour des nefs principales se trouvent des galeries latérales, partie construite sur terre-plein et partie sur sous-sols.

Les fondations des piliers sont tout à fait analogues, comme composition, à celles des piliers des fermes des Expositions diverses.

Toutefois, pour contrebuter les poussées latérales des coussinets, on a réuni les coussinets de chaque ferme par des tirants, cachés sous le parquet.

Fondation du Palais des Machines. — Le Palais des Machines étant appelé à recevoir en sous-sol un grand nombre de canalisations, on ne pouvait songer à employer des tirants souterrains, comme aux fermes du palais des Arts (50 mètres). Il fallut donc établir des culées dans des conditions de solidité supérieures même aux conditions de stabilité les plus exagérées, pour n'avoir jamais à redouter un accident dans la solidité de cette immense nef, d'un système essentiellement nouveau.

Les vingt grandes fermes reposent sur quarante piliers. Dans certaines parties de cet emplacement, les sondages, comme on l'a vu plus haut, donnent une couche de sable de 5 à 7 mètres d'épaisseur assez résistante. Malheureusement, en 1878, on avait exploité à cet endroit une carrière de sable que l'on avait remblayée ensuite avec des détritus à une profondeur de plus de 15 mètres. Plusieurs types de fondations furent donc nécessaires suivant l'épaisseur de la couche de sable.

Le type général se compose d'un massif de maçonnerie de 7 mètres de long, $9^m,50$ de large et $3^m,70$ de hauteur, posé sur un plateau en béton de $0^m,60$ environ d'épaisseur, en refend, de $0^m,25$. Un tel pilier peut porter 3 kilogrammes environ par centimètre carré.

Dans les parties où l'exploitation du sable avait été poussée assez loin pour ne plus laisser à la couche de gravier qu'une épaisseur de quelques centimètres, on battit à la sonnette à vapeur un quinconce de quatorze à vingt-huit pieux de 9 mètres de long. Un certain nombre de ces pieux refoulèrent, ce qui indiquait que l'on était arrivé à la couche stable de sable quartzeux, au-dessous de la couche d'argile. Dix piles furent établies par ce système. Toutefois, il arriva, que pour quelques piles, on dut employer des pieux de 14 mètres, et dans le battage des pieux d'une même pile, on remarquait que, bien que très rapprochés, les uns refoulaient à 10 mètres et d'autres à 8 mètres, c'est-à-dire à la rencontre, par les pieux, des anciennes constructions des Expositions précédentes, telles que des fragments de murailles qui entouraient l'Exposition de 1792, et des fondations des palais de 1855 et 1878.

LA TOUR DE 300 MÈTRES

La Tour de 300 mètres, désignée sous le nom de Tour Eiffel, nom qui lui restera, a été construite pour servir d'entrée monumentale aux divers Palais de l'Exposition universelle de 1889, érigés dans le Champ de Mars. Nous passerons sous silence les péripéties et les critiques soulevées à propos de cette gigantesque construction. Aujourd'hui, toute polémique a perdu son intérêt. L'œuvre est debout et est considérée comme l'un des travaux qui font le plus grand honneur à l'art des constructions métalliques et qui ont contribué pour une large part au succès de l'Exposition de 1889. Elle domine à la fois par sa hauteur sans précédent, par la rapidité de sa construction et par la quantité de métal employé toutes les constructions existantes. Elle n'est pas comme les pyramides d'Egypte et les cathédrales du moyen âge, l'œuvre patiente de plusieurs générations. C'est au contraire, une œuvre *impatiente*, nous dirons même un monument dont la conception est grandiose et dont l'exécution est étourdissante à la fois par sa hardiesse et par les difficultés qu'elle a présentées.

Après avoir eu ses partisans enthousiastes et ses contradicteurs acharnés, la Tour, à mesure qu'elle s'élevait, gagnait sans cesse du terrain dans l'opinion générale et la plupart de ceux mêmes qui l'avaient combattue se sont vivement intéressés à sa construction. Pour les gens du métier, le genre de fondation adopté a présenté dès le début, des conditions de solidité et de sécurité extrêmes. Mais ce n'était pas assez d'assurer au colosse une base invariable et une stabilité verticale, il fallait encore que la Tour ne pût donner aucune inquiétude dans le sens horizontal par rapport à la pression du vent, soit pour la renverser soit même pour y produire des oscillations dangereuses.

Préalablement, lors de l'adoption du projet de la Tour métallique de M. G. Eiffel, toutes les conditions de stabilité avaient été discutées dans plusieurs séances, tenues à cet effet par la Commission de contrôle de l'Exposition, et ce n'est qu'après un mûr examen que sa construction fut décidée.

HISTORIQUE

Toute idée a sa genèse, les grandes conceptions ne sortent pas tout à coup du cerveau d'un homme. Avant de s'appeler Tour Eiffel, le gigantesque pylône que nous admirons aujourd'hui, avait déjà été pressenti par des précurseurs de notre com-

patriote. En effet, malgré sa hauteur considérable de 159 mètres, la cathédrale de Cologne ne semblait pas devoir rester le dernier effort de l'homme; mais la pierre se prête difficilement à des hauteurs de cette importance. Pour aller plus haut, il fallait recourir à d'autres matériaux. Le fer devait vaincre la pierre; il permet non seulement de supporter les réactions verticales de la construction, mais surtout de résister aux efforts de flexion résultant de l'action du vent qui peut être redoutable à de grandes hauteurs. Les progrès de la métallurgie, les prodiges déjà réalisés avec le fer, les ponts gigantesques se surpassant les uns les autres en portée horizontale et en hauteur avaient fait concevoir, depuis longtemps, l'idée d'augmenter dans une grande proportion la hauteur des constructions métalliques.

Le plus ancien projet de tour gigantesque dont le souvenir nous soit resté date de 1833. A cette époque, le célèbre ingénieur anglais Trévithick, à l'occasion du vote du bill de réforme, avait proposé pour perpétuer le souvenir de cet évènement important, d'élever une colonne géante de 1 000 pieds de hauteur ($304^m,80$) « destinée à symbolyser la beauté, la force et la grandeur inaltérable de la Constitution britannique ».

En voici la description que la *Nature* a recueillie (pl. 55-56) :

« Une colonne en fonte de $304^m,80$ de hauteur, 100 pieds ($30^m,48$) de diamètre à la base et 12 pieds au sommet, composée de 1 500 plaques de fonte de $3^m,05$ sur $3^m,05$, ayant au centre un évidement circulaire de $1^m,83$ de diamètre, et près de chaque angle un trou de $0^m,45$ pour réduire le poids et diminuer l'effet du vent. Ces plaques auraient eu 54 millimètres d'épaisseur et la colonne eût reposé sur une fondation circulaire avec un soubassement de 18 mètres de hauteur. Le chapiteau, avec sa plate-forme aurait mesuré 15 mètres de diamétre et porté une statue de 12 mètres de hauteur. Le poids total aurait été de 6 000 tonnes; le coût de l'ensemble 2 millions de francs.

« Au centre de la colonne, on aurait disposé un tube cylindrique de $3^m,05$ de diamètre, à l'intérieur duquel un piston soulevé par l'air comprimé à l'aide d'une pompe, aurait formé ascenseur.

« La tour projetée de Trevithick ressemblait à une gigantesque cheminée d'usine; son ornementation était des plus rudimentaires. Ce projet fut abandonné. »

En 1848, les américains entreprirent à Washington la construction d'un obélisque qui devait avoir 183 mètres; les travaux, interrompus, furent repris de 1877 à 1885, mais la tour n'a que 169 mètres.

En 1874, au moment où l'on édifiait l'Exposition universelle de Philadelphie, une tour de 1 000 pieds fut projetée pour être élevée dans le parc environnant le Palais par MM. Clarke et Reeves; c'était un cylindre en fer de 9 mètres de diamètre, maintenu par des contreforts métalliques disposés sur tout son pourtour venant se rattacher à une base de 45 mètres de diamètre. L'idée ne fut pas mise à exécution, mais elle commença à hanter le cerveau des ingénieurs.

En 1881, M. Sébillot proposa d'éclairer Paris par un foyer électrique placé à 300 mètres de hauteur. Ce projet fut abandonné.

Lorsqu'il fut question de notre Exposition universelle de 1889, et qu'il fallut chercher un monument durable digne de consacrer le centenaire de la Révolution et la puissance du travail moderne, l'idée d'une tour colossale se présenta de nouveau, et bientôt plusieurs projets furent étudiés.

En même temps, en 1884, M. Jules Bourdais, architecte du palais du Trocadéro et M. Gustave Eiffel, ingénieur-constructeur des ponts célèbres du Douro (Portugal), de Szegedin (Autriche) et de Garabit, proposèrent une tour de 300 mètres de hauteur.

La hauteur était le seul point commun aux deux projets : tandis que M. Bourdais déclarait possible l'édification d'une tour cylindrique de 300 mètres, entièrement en pierre, M. Eiffel proposait une tour métallique.

La presse discuta longuement lequel des deux : métal ou pierre, devait l'emporter. De nombreuses critiques adressées à M. Bourdais le décidèrent à modifier son projet [1] ; il proposa alors une tour de 300 mètres en métal sur une base de maçonnerie, décorée d'un revêtement en plaques de cuivre repoussé, et ornée de colonnes surperposées par étage. Elle aurait été élevée derrière le palais du Trocadéro.

Mais le projet Eiffel l'emporta sur son concurrent ; nous rappellerons plus loin différentes phases qu'il dût traverser avant d'être exécuté ; mais auparavant nous dirons encore quelques mots des autres tours colossales projetées.

La publicité donnée aux projets parisiens avait rendu jaloux de renommée certains architectes provinciaux et étrangers. Comme nous sommes toujours sous le coup d'une exposition prochaine, on profita de ces occasions pour projeter des tours colossales qui devaient *enfoncer* la tour Eiffel. On délaissa la pierre et le fer, on s'adressa au bois !.

C'est d'abord M. Lapierre, architecte à Toulouse qui attacha son nom à un projet de tour de 200 mètres entièrement en bois, pour l'Exposition de Barcelone (1888) ; certains critiques acerbes ont comparé l'aspect de cette tour à une voilière ; il vaut avouer que la comparaison n'est pas trop hasardée.

MM. F. Hennebique et E. Nève, architectes bruxellois, proposaient une tour de 300 mètres pour figurer au grand concours des Sciences et de l'Industrie (Bruxelles, 1888) ; cette tour, agréable d'aspect, devait coûter deux millions.

Sans nous arrêter davantage sur les projets qui furent bientôt oubliés, mais que nous avons tenu à signaler tout au moins afin de constater les diverses tendances de la construction extravagante, sans discuter même la possibilité problématique de l'édification de monuments de cette taille en bois, nous devons

1. M. Bourdais de concert avec M. Sébillot avait présenté le projet d'une tour de 370 mètres, savoir : 300 mètres en pierre et 70 mètres en métal avec ornementation en bronze.

rappeler que de nombreuses tentatives américaines et anglaises ont été faites pour atteindre toujours plus haut.

Les Américains et les Anglais qui rivalisent d'imagination — c'est leur droit— qui veulent avoir les plus longs chemins de fer, les plus lourdes locomotives, les plus grands ponts, les plus hautes maisons, les plus hautes cheminées, etc., ne pouvaient dormir à l'idée de voir s'élever sur les bords de la Seine un monument laissant loin derrière lui tous ses devanciers, sans copier personne.

A Londres, en 1890, un concours fut ouvert pour un projet de tour colossale et plus de vingt projets furent présentés, avec des hauteurs variant de 365 à 522 mètres. La plupart de ces projets manquaient d'originalité; ce sont des tours Eiffel modifiées, mais en somme il n'y avait pas là une idée nouvelle. Le jury du concours n'a pas été satisfait paraît-il, de son expérience.

Il a néanmoins donné le prix à la tour en fer de MM. A.-D. Stewart et W. Dunn (365 mètres), mais son exécution paraît devoir être remise a une époque indéterminée.

Nous étions à peine sortis de l'expérience londonienne que les Américains, à l'occasion de leur exposition universelle de 1893, à Chicago, enfantaient à leur tour force projets de monuments gigantesques en fer, en fonte, en bois, en pierre, etc. Comme cela ne coûte rien de projeter, on a parlé d'une tour qui atteindrait 1 000 mètres. Mais jusqu'à présent, la Tour Eiffel n'a eu d'émules que sur le papier.

Nous donnons ci-après la hauteur de quelques monuments célèbres du globe, classés par ordre de hauteur :

Tour Eiffel, 300 mètres.
Tour Mole Antonelliana, à Turin, 170 mètres.
Obélisque de Washington, 169 mètres.
Hôtel de Ville de Philadelphie (surmonté de la statue de W. Penn), 167 mètres.
Cathédrale de Cologne, 159 mètres.
Cathédrale de Rouen, 150 mètres.
Grande pyramide de Cheops (Egypte), 146 mètres.
Cathédrale de Strasbourg, 142 mètres.
Grande cheminée de Glasgow, 140 mètres.
Cathédrale de Vienne (Autriche), 138 mètres.
Saint-Pierre de Rome, 132 mètres.
Cathédrale de Metz, 121 mètres.
Cathédrale d'Anvers, 120 mètres.
Tour Saint-Michel, à Bordeaux, 113 mètres.
Cathédrale de Chartres, 113 mètres.
Saint-Paul, à Londres, 110 mètres.
Dôme de Milan, 109 mètres.
Hôtel-de-Ville de Bruxelles, 108 mètres.

Tour des Asinelli, à Bologne, 107 mètres.
Flèche des Invalides, à Paris, 105 mètres.
Cathédrale d'Amiens, 100 mètres.
La Giralda, à Séville, 97 mètres.
Le Capitole, à Washington, 93 mètres.
Palais Vieux, à Florence, 92 mètres.
Le Panthéon, à Paris, 85 mètres.
Statue de la Liberté, à New-York, 81 mètres.
Westminster, à Londres, 73 mètres.
Tours de Notre-Dame de Paris, 66 mètres.
Sainte-Sophie, à Constantinople, 58 mètres.
Tour penchée de Pise, 57 mètres.
Opéra, à Paris, 56 mètres.
Arc de Triomphe, à Paris, 49 mètres.
Colonne de Juillet, à Paris, 47 mètres.
Colonne Vendôme, à Paris, 45 mètres.
Obélisque de Louqsor, à Paris, 27 mètres.

Voilà pour les monuments actuels, mais ce qu'on ignore généralement c'est qu'il a existé des édifices plus élevés que ceux qui restent aujourd'hui, sauf la tour Eiffel et l'obélisque de Washington. Ainsi l'ancienne flèche de Saint-Paul, à Londres, s'élevait à 163 mètres (incendiée en 1561). Le phare d'Alexandrie, considéré comme une des sept merveilles du monde, avait 160 mètres. Le clocher de Beauvais en avait 153 (écroulé en 1573).

La plupart de ces monuments, et surtout les plus hauts, sont en pierre. Le fer, dont l'emploi raisonné ne date que d'hier pour ainsi dire, a montré tout le parti qu'on pouvait tirer de lui ; mais il est certain que la science des constructions n'a pas dit son dernier mot. Déjà bon nombre de piles métalliques construites quelques années avant la Tour Eiffel atteignaient couramment la hauteur de 60 mètres ; et l'on ne prévoyait pas de difficultés sérieuses à atteindre des hauteurs de 80 et même de 100 mètres. Quand on parla de monter jusqu'à 300 mètres, on éprouva de sérieuses difficultés. En effet, dans l'étude d'un pont si l'on ne veut pas multiplier les montants de l'ossature, il faut mettre des contreventements diagonaux qui dépassent les limites praticables et qui atteignent à la base de la pile des longueurs de plus de 100 mètres. Si au contraire on multiplie ces montants, on obtient une construction extrêmement lourde et disgracieuse. Enfermé dans ce dilemme, M. Eiffel a réussi à en sortir ; il a réalisé un monument où le nombre des montants a pu être très limité tout en supprimant les contreventements diagonaux, et sa tour, sans avoir de prétention architectural, ne manque certainement pas d'originalité ni même d'élégance par sa quasi-transparence ; de plus, elle ne nuit pas, comme on aurait pu le croire, à la perspective des objets environnants. D'ailleurs la solidité devait passer avant

toute chose, et c'est le calcul bien plus que l'art qui a déterminé le profil à donner à l'édifice.

Le nombre des pièces métalliques qui sont entrées dans la construction de la Tour est de 12 000. Chaque pièce a nécessité un dessin spécial. Les épures de la Tour comprennent 700 dessins d'ingénieur et 3 000 feuilles d'atelier ; chaque feuille a 1 mètre sur $0^m,80$; 40 dessinateurs y ont travaillé pendant deux ans. Les pièces assemblées de la Tour comprennent 7 000 000 de trous qui ont été perforés dans la tôle de fer par un outillage spécial. La moyenne d'épaisseur étant de $0^m,010$, les trous placés bout à bout formeraient un tube de 70 kilomètres de longueurs. 2 500 000 rivets ont été employés. Rappelons que la Tour, dont on avait prévu le poids pour environ 7 500 000 kilogrammes, pèse en réalité 10 000 tonnes environ.

La Tour de 300 mètres, telle qu'elle a été exécutée par la maison Eiffel, de Levallois-Perret, ne devait pas tout d'abord présenter la forme sous laquelle nous la connaissons.

Le projet primitif, dont l'idée première revient à M. Nouguier, ingénieur principal de la maison Eiffel, qui s'adjoignit MM. Koechlin, ingénieur de la même maison, et Stephen Sauvestre, architecte, fut exposé à Paris à l'Exposition des Arts décoratifs, en 1885. Cette Tour primitive comprenait une arcature ajourée, formant soubassement et réunissant sur chacune des quatre faces de la Tour les montants inclinés. La commission officielle, chargée d'examiner le projet, n'a conservé que la partie supérieure de cet arc qui se trouve coupé par les prolongements des montants inclinés. L'arc en plein cintre, tombant normalement sur le socle, était plus décoratif que la disposition qui a prévalu, et où la variété a été bannie (fig. 5, pl. 55-56).

La Tour Eiffel a été un succès pour Paris, pour la France, pour l'art des constructions métalliques, dont elle marque comme une étape dans les progrès du dix-neuvième siècle.

Nous allons étudier sa construction en détails, en commençant par rappeler les considérations scientifiques dont elle a été l'objet.

RÉSISTANCE ET STABILITÉ DE L'OUVRAGE

Commission d'examen de la Tour Eiffel.

Par arrêté, en date du 12 mai 1886, M. Édouard Lockroy, ministre du commmerce et de l'industrie, avait nommé une commission consultative chargée d'étudier et d'examiner le projet de tour en fer, présenté par M. G. Eiffel. Cette Commission était ainsi composée :

Le ministre du commerce et de l'industrie, président ; — MM. J. Alphand, directeur des travaux de la ville de Paris; — G. Berger, ancien commissaire des expositions internationales ; — E. Brune, architecte, professeur à l'École des

Beaux-Arts ; — Ed. Collignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées ; — V. Contamin, professeur à l'École centrale ; — Cuvinot, sénateur ; — Hersent, président de la Société des ingénieurs civils ; — Hervé-Mangon, membre de l'Institut ; — Ménard-Dorian, député ; — Molinos, administrateur des Forges et Aciéries de la marine ; — Amiral Mouchez, directeur de l'Observatoire ; — Philipps, membre de l'Institut.

Dans le projet présenté à la Commission, la Tour devait se composer essentiellement de quatre montants ou arbalétriers de forme courbe, formant les angles de l'édifice, et se prolongeant en une poutre unique à section rectangulaire, à partir de la hauteur de 200 mètres. Il n'y entrait que des fers laminés, l'acier étant trop coûteux encore, et présentant moins de garantie de stabilité. Les pieds des quatre montants s'écartaient à la base et dessinaient un carré de 100 mètres de côté.

La Commission examina divers autres projets présentés par MM. Boucher, Bourdais, Henry, Marion, Pochet, Robert, Rouyer et Speyser ; elle les écarta comme irréalisables ou insuffisamment étudiés.

Dans la première séance de cette Commission, tenue le 25 mai 1886, le ministre rappela que l'adoption définitive du projet présenté par M. G. Eiffel restait subordonnée aux décisions ultérieures de la Commission de contrôle des finances, et que la Commission actuelle était exclusivement chargée d'étudier ce projet au point de vue technique, et d'émettre un avis motivé sur ses avantages et les modifications qu'il pourrait subir. La Commission, après avoir entendu les explications fournies par M. Eiffel, confia l'étude détaillée des plans et la vérification des calculs à une sous-commission de trois membres : MM. Philipps, Ed. Collignon et V. Contamin.

Dans sa seconde séance, tenue le 12 juin, la Commission adopta à l'unanimité les conclusions du rapport de M. Ed. Collignon sur le projet de tour en fer de M. Eiffel, sous la double réserve que l'ingénieur-constructeur aurait à étudier, d'une manière précise, le mécanisme des ascenseurs, et que trois spécialistes, MM. Mascart, Becquerel et G. Berger, seraient priés de donner leur avis motivé sur les mesures à prendre au sujet des phénomènes électriques qui pourraient se produire dans la Tour.

Voici, d'après le rapport de M. Ed. Collignon, le résumé des travaux de la sous-commission, chargée d'étudier le projet de tour de M. G. Eiffel, au point de vue de la résistance et de la stabilité de l'ouvrage :

« Les calculs présentés par M. Eiffel, opérés pour la plupart à l'aide de la méthode graphique, reposent sur certaines hypothèses relatives à l'intensité du vent. L'habile ingénieur en a admis deux successives : dans l'une, la Tour subirait du haut en bas une poussée horizontale de 300 kilogrammes par mètre carré de surface choquée ; dans l'autre, la poussée du vent varierait régulièrement et par degrés insensibles, depuis 200 kilogrammes à la base jusqu'à 400 kilogram-

mes au sommet. Ces limites sont notablement supérieures aux pressions du vent observées dans nos climats.

Le projet comporte l'emploi du fer, de préférence à l'acier, qui exigerait de moindres sections et des poids plus faibles, mais ne présenterait pas les mêmes garanties d'homogénéité, et ne pourrait être travaillé dans les mêmes conditions.

L'accroissement de poids qu'entraîne l'adoption du fer contribue d'ailleurs à la stabilité de l'ouvrage. La limite de résistance pour le métal est de 10 kilogrammes par centimètre carré. Ce chiffre, qui dépasse les limites généralement admises dans les études des tabliers métalliques, ne devant être atteint que dans les cas tout à fait exceptionnels où se réaliseraient les hypothèses faites sur les actions dues au vent; ce chiffre nous semble pouvoir être admis partout où les influences non calculées des vibrations, s'ajoutant aux efforts moléculaires, déterminés dans le mémoire, donneraient une fatigue inférieure à la limite d'élasticité du métal.

La Tour se compose essentiellement de quatre arbalétriers, ou montants, qui forment les angles de l'édifice et en composent l'ossature; ils ont une forme courbe qui les amène graduellement à converger au sommet, tandis qu'à la base les centres des arbalétriers y dessinent un carré de 115 mètres de côté. Le tracé des arbalétriers a été fait de telle sorte que l'action du vent y développe seulement des actions longitudinales : soit des compressions qui augmentent celles que produit le poids propre, soit des extensions qui se retranchent au lieu de s'ajouter, mais en laissant toujours prédominer la compression qui règne en tout point du sommet à la base. Dans ces conditions, l'entretoisement des arbalétriers devient inutile; aussi les a-t-on rendus indépendants les uns des autres, disposition qui donne à la construction son caractère particulier; il est vrai, qu'en toute rigueur, cette indépendance suppose une répartition déterminée des efforts dus à l'action du vent. Dès qu'on admet successivement, comme l'ont fait les auteurs du projet, deux hypothèses distinctes pour la répartition de ces efforts, à chacune de ces hypothèses correspondrait un tracé particulier de la ligne moyenne des arbalétriers, et le tracé réel que l'on adopte n'est plus que le résultat d'une interpolation entre ces deux tracés préparatoires. De là résulte qu'aux efforts longitudinaux s'ajoutent, dans les diverses sections, des moments fléchissants, dont la valeur n'est nulle part, du reste, bien considérable.

La sous-commission a discuté toutes ces hypothèses, et repris la plus grande partie des calculs, en les faisant par d'autres méthodes. L'accord constaté entre les résultats obtenus de diverses manières est une garantie de l'exactitude des opérations.

La Tour peut être partagée en deux parties principales :

La première partie, la plus élevée, s'étend du sommet de la Tour sur une

hauteur de 114 mètres; les quatre montants y sont réunis et se fondent pour ainsi dire en une seule et même poutre droite à section rectangulaire;

La seconde partie supporte la première; les quatre arbalétriers s'y écartent de plus en plus à mesure qu'on descend, et sont reliés seulement, de distance en distance, par des brides horizontales dans la portion la plus haute, et plus bas par les plancher des étages de la Tour et des arcades qui les accompagnent.

Nous examinerons ces deux parties successivement :

Première partie. — Dans ce tronçon de 114 mètres, les efforts de compression, calculés séparément, pour les bandes longitudinales des arbalétriers et pour les barres de treillis qui les rendent solidaires, atteignent les valeurs suivantes, exprimées en kilogrammes, et rapportées au millimètre carré de section transversale :

NUMÉROS des sections	BANDES LONGITUDINALES DES ALBALÉTRIERS			TREILLIS
	Effort dû au poids propre	Effort dû au vent	Effort total	Effort de compression dû au vent
Ire	1^kil^,20	1^kil^,70	2^kil^,90	5^kil^,10
IIe.	1 , 90	5 , 70	7 , 60	7 , 40
IIIe	2 , 00	5 , 90	7 , 90	7 , 30
IVe	1 , 90	6 . 50	8 , 40	7 , 80
V^e^	2 , 00	6 , 00	9 , 00	7 , 60

Bien que ces efforts soient inférieurs à la limite de 10 kilogrammes, admise pour le métal, ils paraissent un peu élevés. La compression des barres de treillis approche de la limite qui pourrait y produire une flexion latérale. La compression des bandes est due en grande partie à l'action du vent, qui y produit des efforts bien supérieurs à ceux que produit le poids propre. Si l'on tenait compte des mouvements vibratoires qu'un vent violent, soufflant par raffales, pourrait communiquer à la Tour, on serait conduit à admettre que la part due au vent dans l'effort total peut être accidentellement doublée, et alors, au lieu d'un effort total de 9 kilogrammes, décomposé en 2 kilogrmmes dus au poids propre, et 7 kilogrammes dus à la poussée du vent, on obtiendrait un effort limite de 16 kilogrammes par millimètre carré, bien voisin de la limite d'élasticité du fer. Mais il ne faut pas oublier que les résultats contenus dans le tableau précédent supposent un vent de 400 kilogrammes par mètre carré, soufflant dans la région la plus haute de la tour. Or, on n'a jamais observé à Paris, ni même ailleurs, un

vent atteignant une pareille intensité. Dans nos climats, les plus grandes tempêtes ne développent pas d'efforts supérieurs à 90 kilogrammes. On serait donc autorisé à réduire au quart environ les résultats obtenus dans une hypothèse évidemment exagérée ; dans ces conditions, les 9 kilogrammes de compression de la section V s'abaisseraient à 3 kil. 75 à l'état statique, et à 5 kil. 50 si l'on double l'effort dû à la composante horizontale pour tenir compte des vibrations. Rien ne serait plus facile, du reste, que d'augmenter notablement la rigidité de cette partie de la Tour, par un léger accroissement des épaisseurs attribuées au métal.

Seconde partie. — Les calculs de résistance de la seconde partie ont été présentés par M. Eiffel sous une forme très simple, grâce à l'adoption de certaines hypothèses. Il a admis, par exemple, que la résultante des forces extérieures, qui agissent sur une portion d'arbalétrier, comprise entre une section quelconque et le sommet de la Tour, passe toujours par le centre de gravité de la section qui lui sert de base. Il a réduit aussi, pour certaines parties, la section utile de l'arbalétrier à deux membrures, tandis qu'il eut été plus rigoureux d'en introduire trois dans les calculs. Il était essentiel d'examiner la légitimité de ces hypothèses, et de voir si elles ne conduisaient pas à des efforts moindres que ceux qui seraient réellement développés.

Entre la section V, base de la première partie, et la section IX, qui coïncide avec le plancher du second étage, le mémoire de M. Eiffel signale des compressions qui varient de 9 kil. 40 à 9 kil. 90, et dans lesquelles le poids propre entre seulement pour 1 kilogramme à 1 kil. 90. Ces efforts paraissent un peu élevés, par les raisons exposées tout à l'heure, mais il y a une manière bien simple d'améliorer de beaucoup la stabilité de cette région, et d'y introduire un surcroît de raideur qui profitera à tout l'ensemble. Les quatre arbalétriers, sans être jointifs, comme plus haut, sont encore, jusqu'au plancher du second étage, à des distances assez faibles pour qu'il soit possible de les entretoiser par des diagonales, de manière à en faire une seule et unique poutre rigide. Les efforts se répartissent alors beaucoup plus également, et la compression maximum s'abaisse immédiatement de 9 kil. 90 à 4 kil. 50. La modification que l'on signale ici ne change rien, d'ailleurs, à l'aspect général de l'ouvrage.

Entre le plancher du second étage et la base de la Tour, les compressions indiquées par M. Eiffel s'élèvent à 9 kil. 76 au plus, limite qui n'a plus rien d'inquiétant, car, si on la décompose en deux parts, l'une due aux poids propres, l'autre à l'action du vent, on reconnait que la première part passe graduellement de 3 kil. 10 à 6 kil. 20, tandis que la part du vent diminue de 5 kil. 90 à 3 kil. 76 ; de sorte que la portion stable l'emporte de plus en plus sur la portion qui peut subir un accroissement du fait du mouvement oscillatoire.

On reconnaît aussi que les simplifications admises par les auteurs du projet

ne les ont pas conduits à la détermination de valeurs trop faibles. Le calcul complet, fait pour la section X, située au-dessous du premier plancher, conduit à une limite de 7 kil. 40 au lieu de 9 kilogrammes qu'avait trouvée M. Eiffel par la méthode plus sommaire dont il a fait usage.

La sous-commission a signalé aux auteurs du projet une objection que l'on peut faire aux hypothèses qui servent de base au calcul de l'action du vent. Ces hypothèses consistent, comme on l'a vu, à admettre une répartition uniforme, ou uniformément variée, de la poussée horizontale qui agirait sur toute la construction, de la base au sommet. Or, rien n'autorise à supposer que le vent réalisera toujours une répartition aussi régulière, et la sous-Commission a pensé qu'il fallait prévoir les cas où elle s'exercerait seulement sur une portion de la Tour, à partir du sommet, sans agir également sur toute la hauteur. Dans ces conditions, la poussée résultant du vent ne passe plus au niveau qui permet de la décomposer tangentiellement aux arbalétriers ; il en résulte la production d'un couple qui doit être équilibré par la résistance des mêmes sections dans le métal et dont le bras de levier acquiert parfois des valeurs considérables. M. Eiffel a présenté à la sous-Commission une nouvelle série de calculs dans lesquels il tient compte de ces poussées imcomplètes. Il a supposé successivement qu'un vent de 300 kilogrammes au mètre carré agissait d'abord sur le quart supérieur de la Tour, puis sur la moitié supérieure et enfin sur les trois quarts à partir du sommet, le reste de la Tour ne subissant aucune poussée analogue. Il résulte de ces nouveaux calculs que les augmentations produites dans les efforts limites de compression par ces poussées incomplètes ne sont jamais bien grandes. Si le couple à équilibrer peut acquérir de grands bras de levier, la force, par contre, est d'autant moindre que le bras de levier est plus grand ; de là, une sorte de compensation qui restreint l'augmentation des efforts. La charge la plus grande par mètre de surface, due aux poussées incomplètes, a lieu dans la section XI, lorsque l'action du vent s'exerce sur la moitié supérieure de la Tour. Elle monte à $10^{kg},40$, mais le poids propre y figure pour $3^{kg},80$. Il n'en résulte pour la stabilité aucune condition notoirement défectueuse et cela dans une hypothèse qui, sans doute, ne sera jamais réalisée. Il en coûterait d'ailleurs relativement peu de diminuer ces chiffres de 1 kilogramme et demi à 2 kilogrammes.

Le calcul des *ceintures*, présenté par les auteurs du projet, n'intéresse pas la résistance de l'ossature, seule question dont la sous-Commission ait eu à se préoccuper. Elle a laissé de même de côté les questions d'assemblage et de rivures dont elle est loin de méconnaître l'importance, mais qui pourront être étudiées seulement lors de la rédaction du projet d'exécution définitif.

Résumé. — Conclusion. — En résumé, le projet de la Tour présenté par M. Eiffel paraît conçu dans de bonnes conditions de stabilité générale, surtout

si l'on a égard à l'exagération évidente des hypothèses faites sur a violence du vent.

Des quatre étages que renferme la Tour, le rez-de-chaussée, où le poids propre prédomine, et l'étage supérieur, où les quatre arbalétriers sont invariablement réunis, présentent toute la rigidité nécessaire; on ne voit d'autre observation à faire, à propos de ces deux parties, que d'engager les auteurs du projet à faire reposer leurs arbalétriers, coupés à angle droit, sur des assises inclinées, dressées normalement à l'axe des pièces auxquelles elles servent de base. Le second étage, compris entre le second plancher et le troisième, peut être amené au degré de résistance de l'étage supérieur, en introduisant entre les arbalétriers deux à deux, une liaison par des barres diagonales. Le premier étage, au-dessus du premier plancher est dans le projet actuel, la partie faible de la Tour, parce qu'il y a, dans cette région, prédominance des efforts, dus au vent sur ceux qui correspondent au poids propre, et que l'écartement des arbalétriers ne permet pas d'entretoiser ces derniers.

La sous-commission est, en définitive, d'avis que le projet de M. Eiffel peut être approuvé au point de vue de la stabilité et de la résistance, sous les réserves suivantes :

1° Les arbalétriers seront réunis deux à deux dans la partie désignée plus haut sous le nom de second étage ;

2° Les sections des arbalétriers dans la partie dite du premier étage devront être légèrement augmentées, de telle manière qu'il en résulte une réduction de la part proportionnelle du vent dans l'effort total ;

3° Les pieds des arbalétriers, à la base de la Tour, seront coupés normalement à l'axe moyen des pièces, et devront porter sur des assises réglées à la même inclinaison.

La sous-commission estime qu'il y a lieu d'appeler l'attention des auteurs du projet sur l'importance des questions relatives aux assemblages et aux rivures, comme aussi sur la convenance qu'il y aurait à assurer l'invariabilité des angles des arbalétriers, au moyen de goussets et de cornières.

Enfin, reprenant une idée exprimée par M. Brune, notre regretté collègue, la sous-commission pense qu'il est à propos, au point de vue architectonique, de faire saillir, dans le projet d'exécution, les arbalétriers dans toute la hauteur du rez-de-chaussée, sauf à réduire l'épaisseur de l'archivolte de la voûte voisine.

Les membres de la sous-Commission,

Ont signé : MM. Philipps, Collignon et Contamin.

CONVENTION

Le 8 janvier 1887, furent signées entre MM. Lockroy, représentant l'Etat, M. Poubelle, représentant la Ville de Paris et M. Eiffel, soumissionnaire, la convention et les conditions auxquelles la Tour devait être construite.

M. Eiffel demeurait soumis au contrôle des ingénieurs de l'Exposition et de la Commission nommée le 12 mai 1886. Il recevait : 1° une subvention de 1 500 000 francs, échelonnée en trois termes, dont le dernier échéant à la réception de l'ouvrage; 2° l'autorisatien d'exploiter la Tour pendant la durée de l'Exposition ; 3° la continuation de la jouissance, pendant vingt ans, à dater du 1er janvier 1890. A l'expiration de ce délai, la Tour devait faire retour à la Ville de Paris.

La Compagnie Eiffel s'engagera à parfaire les 6 millions, constituant le chiffre prévu de la dépense de la Tour.

Après quelques hésitations, concernant l'emplacement de la Tour au Champ de Mars ou ailleurs, on accepta le Champ de Mars.

Esquisse générale de la Tour (fig. 26, pl. 55-56). — La Tour de 300 mètres comprend trois étages. Les plates-formes correspondantes sont respectivement à $57^m,63$, à $115^m,73$ et à $276^m,13$ au-dessus du sol. La plate-forme supérieure est couronnée par un campanile, dont la terrasse la plus élevée est à 300 mètres en contrehaut de Champ de Mars.

L'ossature de la Tour est composée de quatre arbalétriers ou piliers. A la base les centres de ces arbalétriers dessinent un carré de 100 mètres de côté.

Entre le sol et la plate-forme du premier étage, les arbalétriers sont rectilignes et fortement inclinés; ils constituent ainsi les quatre angles d'un tronc de pyramide quadrangulaire. Ils se courbent ensuite de manière à venir converger et à se confondre au-dessus de la plate-forme du second étage.

Des cadres puissants les réunissent vers le niveau des plates-formes du premier et du second étage; ils sont en outre reliés par des traverses et des croisillons, aussi bien entre leur point de jonction et la seconde plate-forme qu'au droit des panneaux situés immédiatement au-dessous de cette plate-forme.

Des arcs de 74 mètres de diamètre se développent entre les piliers à l'étage inférieur, mais leur rôle est purement décoratif.

Les arbalétriers ont, au niveau du sol, une section carrée de 15 mètres de côté. Ils sont formés de quatre poutres d'angle, solidement rattachées par des traverses et des croisillons.

Autour des plates-formes règnent des galeries en encorbellement, que supportent des consoles et qui concourent, avec les arcs inférieurs, à donner au monument un caractère ornemental, que les pièces de résistance seraient insuffisantes à offrir.

Les travaux de terrassement commencèrent le 28 janvier 1887.

Quelques jours après, c'est-à-dire trop tard pour avoir sa raison d'être, M. Alphand recevait une protestation virulente contre l'édification de la Tour signée des peintres, sculpteurs, architectes et écrivains les plus en renom. Cette protestation n'eut aucune suite, et nous ne la signalons qu'au point de vue historique.

FONDATIONS DE LA TOUR DE 300 MÈTRES

Les nombreux sondages exécutés minutieusement dans le Champ de Mars ont montré (fig. 7, pl. 55-56) que l'assise inférieure du sous-sol est constituée par une couche d'argile plastique de 16 mètres d'épaisseur environ, reposant sur la craie. Cette nappe d'argile qui commence à environ 14 mètres au-dessous du sol moyen, est sèche et compacte et présente de bonnes conditions d'assiette, et peut supporter des charges de 3 à 4 kilogrammes par centimètre carré.

Au-dessus de l'argile plastique règne une couche de gravier et de sable, dont l'épaisseur atteint $6^m,50$, puis s'amincit rapidement en s'approchant de la Seine, sous laquelle elle se réduit à $0^m,40$ et $0^m,50$. Enfin, cette couche solide de sable et de gravier est surmontée elle-même d'une épaisseur variable de remblais de toutes sortes remués par de nombreux bouleversements de terrain. Ce sol supérieur renferme entre autres du sable fin et du sable vaseux ; il est impropre à recevoir des fondations.

On n'a pas pu, comme il eut été préférable, éloigner beaucoup du fleuve les fondations de la Tour. Aussi a-t-il fallu varier le mode d'établissement des quatre piles.

En désignant les quatre piles correspondant aux quatre arbalétriers par les numéros 1 (nord), 2 (est), 3 (sud) et 4 (ouest) (fig. 24), nous allons pouvoir nous rendre compte des pressions sur le sol. Chacune de ces piles développe des réactions pouvant s'élever à 3000 tonnes et est constituée par un caisson de 15 mètres de côté, dont chaque arête d'angle est supportée par un massif spécial en maçonnerie destiné à répartir les pressions de telle sorte qu'en aucun point le sous-sol n'ait à subir une pression supérieure à 4 kilogrammes par centimètre carré.

Sous les piles 2 et 3, où le sol naturel est à la cote 34, la couche de sable et gravier a été rencontrée à 7 mètres au-dessous du niveau du sol et elle y atteint l'épaisseur de $6^m,50$. Il a suffi d'établir, à sec, à la cote 27 (cote de la retenue du barrage de la Seine à Suresnes), quatre enceintes de béton de 10 mètres de longueur, 6 mètres de largeur et 2 mètres d'épaisseur pour chacune des piles. L'enceinte la plus rapprochée du centre de la Tour, correspondant au logement de la cage de l'ascenseur, a été prolongée de façon à atteindre 14 mètres de longueur.

Sous les piles 1 et 4, on n'a rencontré la couche de sable et gravier qu'à 11 mètres de profondeur, soit à la cote 23,50. Cette courbe est à $3^m,50$ au-dessous de l'eau et pour y arriver on traverse des terrains vaseux et marneux, provenant des alluvions de la Seine.

Les sondages des piles 1 et 4 ont été effectués à l'air comprimé, à l'aide d'une cloche en tôle de $1^m,50$ de diamètre surmontée de hausses.

La couche solide, sous la pile n° 1 a 1 à 5 mètres d'épaisseur et est assise sur une

épaisse couche de calcaire chlorité. La fondation de ces deux piles a été faite à l'aide de caissons foncés à l'air comprimé, système inauguré aux fondations du pont de Kehl vers 1856. Ces caissons en tôle de 15 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur et 6 mètres d'épaisseur, présentant une chambre de travail de 2 mètres de haut, ont été descendus jusqu'au sable, puis remplis de béton hydraulique.

La partie supérieure de cette chambre est armée de poutres en fer de $0^m,70$, au-dessous desquelles a été coulée une nouvelle couche de béton jusqu'à l'affleurement du batardeau supérieur, arrêté à la cote 27. Il y quatre caissons par pile.

Ces seize massifs de béton servent de supports à un nombre égal de pyramides en maçonnerie de 8 mètres de hauteur, dont l'axe de chacune se dirige vers l'arête correspondante de chacun des quatre grands caissons de piles. Ces pyramides sont couronnées par deux assises en pierres de taille de Château-Landon, recevant les sabots d'appui en fonte, où s'insèrent les arêtes des montants ; les maçonneries sont constituées en moellons de Souppes, hourdés en mortier de ciment de Portland, de Boulogne, de première qualité (marque Famchon), à dose de 250 kilogrammes par mètre cube de sable. La chaux n'eût procuré la même sécurité de prise qu'après un délai de dix mois ; l'urgence des travaux n'a pas permis d'hésiter à choisir le ciment, moins économique mais qui fait prise en moins d'un mois.

A l'intérieur de ces pyramides et dans le sens général de leur axe sont noyés des tirants doubles en fer de $0^m,15$ de diamètre, qui se relient à leur partie inférieure à des fers à double T de $0^m,20$ de hauteur. Ces tirants d'ancrage ont $7^m,80$ de longueur. On constitue ainsi un amarrage d'une grande puissance, mais qui n'est en somme qu'un surcroît de précaution, puisque les calculs ont été faits pour annuler toute tendance au renversement par le vent.

Le pourtour extérieur des piles est, sur le sol, limité par un socle de pierre de $1^m,80$ de hauteur. Ce socle est supporté par un certain nombre de petits piliers verticaux reliés les uns aux autres par des arcades en maçonnerie, sauf pour l'une des piles d'arrière, la pile 3, dont la fondation constitue une cave à machines de 5 mètres de hauteur, et dans laquelle ces arcades sont fermées par une maçonnerie pleine servant de mur d'enceinte. Pour les trois autres, les fouilles ont été complètement remblayées. Chaque pile a reçu, dans son massif d'avant, dont la longueur a été portée à 14 mètres, le logement inférieur de l'ascenseur (fig. 11) avec mur de soutènement en arrière.

La pression verticale sur le sol de fondation, y compris l'effort du vent, atteint :

1° Pour chacun des massifs des piles Est et Sud (côté de l'École militaire) 3 320 tonnes qui, réparties sur 90 mètres carrés, donnent une charge de 3 kilogr. 7 par centimètre carré ;

2° Pour les autres massifs, 1 970 tonnes qui, réparties sur 60 mètres carrés, donnent 3 kilogr. 3 par centimètre carré.

La pression oblique exercée par la Tour à la partie supérieure de chaque massif est de 565 tonnes, en négligeant l'action du vent, et de 875 tonnes en ayant égard à cette action. On estime que les maçonneries ordinaires ne travaillent pas à plus de 4 ou 5 kilogrammes par centimètre carré. Quant au travail de la pierre de taille de Château-Landon, sous les sabots, il ne dépasse pas 30 kilogrammes par centimètre carré, alors que la résistance de cette pierre à l'écrasement s'élève à 1 235 kilogrammes.

Pour être certain, quoi qu'il arrive, de pouvoir maintenir ou rétablir les pieds de la Tour dans un plan parfaitement horizontal, M. Eiffel a ménagé dans chacun des sabots un logement pour y installer une presse ou vérin hydraulique de la force de 800 tonnes. Ces presses devaient permettre de déplacer les arêtes de la tour et de les relever de la quantité nécessaire, sauf à intercaler des coins en acier entre la partie supérieure du sabot et la partie inférieure d'un contre-sabot en acier fondu sur lequel venait s'assembler le montant en fer. Elles ont rétabli, quand cela a été nécessaire, le nivellement rigoureux de tous les points d'appui. Chaque vérin se composait d'un piston de $0^m,43$ de diamètre se mouvant dans un cylindre de $0^m,095$ d'épaisseur. Le piston et le cylindre étaient en fer forgé.

L'eau comprimée à la main par une pompe foulante, pénétrait dans le fond du cylindre par un tuyau de $0^m,006$ de diamètre. Avant de sortir des ateliers de MM. Vollot, Badois et Cie, les appareils avaient été essayés à une pression de 600 atmosphères, correspondant à une pression de 900 tonnes.

On a encore établi les fondations d'un soubassement décoratif constituées par des dalles en béton Coignet, supportées par une ossature en métal.

Les fondations, commencées le 28 janvier 1887, étaient terminées le 30 juin suivant. Pendant ces cinq mois, on a exécuté 31 000 mètres cubes de fouilles et 12 000 mètres cubes de maçonnerie, dont une grande partie à l'air comprimé.

Toute l'infrastructure est noyée dans un remblai arasé au niveau du sol, excepté pour la pile sud, où l'on a ménagé une cave pour recevoir les générateurs de vapeur et la machinerie des ascenseurs.

Construction métallique de la Tour.

Dès que la maçonnerie des fondations a été faite, on y a implanté les sabots en fonte par l'intermédiaire desquels les arêtes ou angles des quatre montants devaient reposer sur leurs soubassements respectifs. Cette opération difficile était très importante. De sa précision dépendait le succès du montage de la

Tour, comme le dit M. Emile Nouguier [1]. On comprend, en effet, que, dans une construction métallique dont toutes les pièces sont fabriquées d'avance avec des formes et des dimensions qu'il est impossible de modifier, si la position des pièces de base n'est pas rigoureusement exacte, il deviendra plus tard impossible de faire la jonction des pièces dans les parties supérieures de la construction. Il fallait donc mettre les seize sabots de la base mathématiquement à leur place, en tenant compte à la fois de leur niveau, de leur inclinaison et de leurs distances respectives.

Après un grand nombre de vérifications, on acquit la certitude que l'implantation des sabots en fonte ne laissait rien à désirer et l'on pût dès lors commencer le levage des premier éléments de la Tour.

Il est nécessaire de dire et d'insister sur l'état des éléments métalliques à leur arrivée au chantier.

Les pièces étaient expédiées des usines de Levallois-Perret, complètement terminées. Exécutées avec une extrême précision, présentées avant leur départ, en regard de celles avec lesquelles elles devaient être assemblées, elles ne nécessitaient au chantier aucun parachèvement, ni aucune retouche. La certitude qu'on avait de leur exécution mathématique était telle que lorsque, par hasard, l'une d'entre elles semblait mal s'ajuster avec celles auxquelles on devait la juxtaposer, on ne pensait pas un seul instant que la pièce pût être mal exécutée; on était simplement averti qu'on s'y prenait mal pour sa mise en place. Cette manière de faire diffère sensiblement de celle qui est usitée en Angleterre, où l'on ne craint pas de présenter plusieurs fois les pièces sur place et de les modifier jusqu'à ce qu'elles aient reçu leur forme définitive. Nous pensons, dit M. Emile Nouguier, que la méthode française est supérieure à la méthode anglaise, parce qu'elle ne donne lieu à aucune surprise et permet d'obtenir un travail plus parfait.

Poids des plus lourdes charges. — Les plus lourdes charges entrant dans la composition de la Tour, à l'exception des sabots d'appui dont il vient d'être question, ne dépassaient pas le poids de 3 000 kilogrammes. C'est un poids limite, que d'une manière générale, dit M. Emile Nouguier, il n'est pas avantageux de dépasser si l'on veut que le montage sur place puisse se faire économiquement et rapidement. Avec des pièces très lourdes, on est obligé d'employer des engins de levage très puissants, difficiles à installer, à manœuvrer et à déplacer. Toutes les installations du chantier s'en ressentent; elles deviennent plus importantes et plus coûteuses, les chances d'accidents augmentent; et si ces accidents se produisent, ils ont alors des conséquences désastreuses. Il est vrai que le travail de la rivure au chantier se trouve un peu

[1] *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie Nationale*, juin 1891. Nous empruntons à cette publication la partie technique du montage de la Tour de 300 mètres.

diminué, puisque le nombre de joints à faire sur place est en raison inverse de la longueur des tronçons ; mais ce faible avantage est largement compensé par la facilité plus grande avec laquelle se fait l'assemblage des pièces plus légères. Lorsque les pièces arrivaient au Champ de Mars, elles étaient déchargées et classées au moyen d'une grue roulante. Du lieu de dépôt, partaient quatre voies qui aboutissaient aux montants de la Tour et permettaient d'amener les pièces au-dessous de l'engin qui devait servir à les mettre en place.

Marche du montage. — On a attaqué à la fois les quatre montants de la Tour. Ces montants sont, comme il a été dit, des poutres ou caissons de section carrée de 15 mètres de côté, présentant sur l'horizontale une inclinaison de 54 degrés.

Il est bon de remarquer que, dans toute l'étendue de l'intervalle du premier étage, le tronçon inférieur de la Tour est un tronc de pyramide quadrangulaire ayant pour hauteur la hauteur du premier étage. Il en résulte que les faces de cette fraction de la Tour sont des plans et les arêtes d'angle sont des droites situées dans les plans diagonaux de la Tour. Il en résulte aussi que pour cette partie de la Tour les montants sont rectilignes. Les premiers tronçons furent levés et assemblés au moyen de grandes chèvres. On a pu, par ce moyen, élever la Tour jusqu'à 26 mètres, sans employer aucun échafaudage, malgré la grande inclinaison des montants; mais on ne pouvait aller au-delà de cette hauteur sans étager la partie déjà montée, par la raison que la verticale passant par le centre de gravité du montant serait sortie de la base de ce montant qui aurait eu tendance à se renverser. On construisit alors des échafaudages de buttée, auxquels on donna la forme de pyramides triangulaires sur le sommet desquelles on fit reposer la partie construite au moyen de forts corbeaux provisoires en tôle et cornières rivés sur les arbalétriers des montants.

Échafaudages de butées (fig. 13, 14, 15, 16, 17 et 18, pl. 55-56). — Ces échafaudages étaient de grands pylônes en charpente de $27^m,40$ de hauteur portant les trois arêtes des montants les plus rapprochés de l'axe vertical de la Tour. Sous l'arête médiane intérieure, on avait réuni deux de ces échafaudages en un seul de manière à former un pylône double. Chaque échafaudage reposait sur huit pieux de $0^m,35$ de diamètre, battus au refus dans le sol du Champ de Mars. Les pièces principales étaient formées par des poutres équarries ayant $0^m,27$ de côté à leur base et $0^m,25$ au sommet. Elles étaient entretoisées par sept rangées de moises de $0^m,25 \times 0^m,12$ et contreventées sur les quatre faces de la pyramide par des bois de $0^m,22 \times 0^m,22$ formant croix de Saint-André. Un pylône simple pouvait résister facilement à une charge de 150 000 kilogrammes et par conséquent l'ensemble des échafaudages de buttée, groupés sous le même montant était capable de porter une charge de 600 tonnes. Cette charge n'a

jamais été atteinte, et à aucun moment, les bois des échafauds n'ont donné aucune marque de fatigue.

Le cube des bois entrant dans les pylônes a été de 500 mètres cubes, plus 120 mètres cubes pour les pieux, soit en tout 625 mètres cubes.

La construction en fer ne reposait pas directement sur les têtes des pylônes. Entre le bois et les corbeaux en fer d'appui étaient intercalées des boîtes à sable dont la description est donnée ci-après.

Boîtes à sable (fig. 19 et 20). — Ces boîtes à sable sont de simples cylindres en tôle qu'on remplit en partie de sable bien sec. Ces boîtes sont bouchées au moyen d'un piston ou tampon de bois. Elles portent des trous à la base du cylindre qu'on ferme avec des fiches en bois. Si l'on retire ces fiches et qu'on vienne à gratter, par les ouvertures, le sable contenu dans le cylindre, ce sable s'écoule, mais l'écoulement s'arrête dès qu'on ne le provoque plus. Il s'ensuit qu'on peut régler la descente du piston avec une extrême lenteur et l'arrêter exactement comme l'on veut. Par ce moyen, on se réservait donc de pouvoir abaisser la construction métallique, portée par les échafaudages de buttée ; ce qui devait servir plus tard à l'amener exactement à sa place définitive.

En outre de ces boîtes à sable, on possédait un autre moyen de réglage. Les énormes sabots en fonte, qui terminent les quatre arêtiers des montants à leur base, ne font pas corps avec ceux-ci ; ils sont évidés de manière à permettre l'introduction de presses hydrauliques. On conçoit qu'en manœuvrant ces presses, on puisse soulever ou abaisser les arêtiers des montants. Ce moyen ajouté à celui donné par les boîtes à sable a permis d'amener les montants exactement à la place qu'ils devaient occuper. Nous allons indiquer la disposition des presses hydrauliques qui ont joué un rôle considérable dans la mise en place de la Tour.

Presses hydrauliques. — Chaque presse hydraulique pouvait soulever 800 tonnes. On voit que si l'on en plaçait une sous chacun des arbalétriers des montants qui sont au nombre de seize, quatre par montant, on pourrait soulever un poids de 12.800 tonnes. Or comme le poids total de la Tour est à peine supérieur à 10 000 tonnes, il en résulte qu'on pourrait facilement, même actuellement, remédier, au moyen de presses semblables, à un tassement inégal des pieds de la Tour, si par impossible, ce tassement venait à se produire. Chaque presse hydraulique se compose d'un piston de $0^m,43$ de diamètre, qui se meut dans un cylindre, d'un diamètre extérieur de $0^m,62$ et d'une épaisseur de $0^m,095$. Le piston et le cylindre sont en acier forgé. Un tuyau de 6 millimètres de diamètre ramène l'eau dans le fond du cylindre. Cette eau était comprimée par une pompe foulante que des hommes actionnaient au moyen d'un levier. Deux presses semblables ont été suffisantes pour les besoins du montage. Elles avaient été

essayées, avant leur emploi, à une pression de 600 atmosphères correspondant à un poids de 900 tonnes. Ces presses provenaient des ateliers de MM. Volot Badois et Cie.

En faisant agir ces presses, à tour de rôle, sous les arbalétriers d'un montant, on pouvait modifier leur niveau et, par suite, faire varier la position et la direction du montant.

A cet effet, les arbalétriers qui sont de robustes caissons offrant une section de 0m,80 de côté et dont les parois en tôle pleine et épaisse sont reliées par des cornières d'angle et des cornières armatures, portent à leur extrémité inférieure une pièce d'acier en forme de chapeau qui pénètre dans l'intérieur du sabot de fondation et dont les bords s'appuient sur le contour de ce sabot. La presse était introduite dans le sabot, son piston vient agir sur le fond du chapeau en acier, elle le soulève et c'est alors qu'en interposant des cales en fer entre les bords du chapeau et le sabot d'appui, on arrive à régler, comme il convient, la position de l'arbalétrier. C'est, à une grande échelle, la même opération que celle qu'on fait quand on veut caler les pieds d'une table. On répéta cette opération plusieurs fois pendant le montage des parties de piliers qui vont du sol au premier étage ; mais c'est surtout au moment où l'on fit faire la jonction de ces piliers avec les premières poutres entretoisées horizontalement (à la hauteur du premier étage) qu'on a eu recours à la fois aux boîtes à sable et aux presses hydrauliques.

Nous allons maintenant continuer la description du montage proprement dit de la Tour.

Montage au-dessus des échafaudages de buttée. — Les quatre montants étant bien assis sur leurs échafaudages de buttée, on en continuait le montage en porte-à-faux ; seulement, à partir du moment où il n'avait plus été possible de lever les pièces au moyen de chèvres placées sur le sol, on a dû recourir à un autre procédé.

A l'intérieur de chaque montant et au-dessus de l'arbalétrier le plus rapproché du centre de la Tour, se trouvent les chemins des ascenseurs. Ce sont deux grandes poutres inclinées suivant la même direction que l'arêtier, ayant une hauteur de 1m,30 et qui sont comme des rails gigantesques de la voie suivie par les cabines des ascenseurs. On utilisa cette voie, au fur et à mesure de sa mise en place, pour servir de chemin à une grue construite de manière à pouvoir amener à leur position définitive toutes les pièces composant le montant et, en particulier, les poutres des ascenseurs ; de sorte que cette grue préparait elle-même la voie sur laquelle on devait la hisser.

Chaque pilier était muni d'une grue semblable. Leur force était de 4 000 kilogrammes et leur portée devait pouvoir varier de 5m,50 à 12 mètres, afin de desservir aisément tous les points du plan de pose, compris entre les quatre arbalétriers d'un montant.

Ces grues devaient donc être rotatives et à portée variable. Elles devaient de plus, à cause des changements d'inclinaison du chemin à parcourir, être munies d'un mécanisme permettant de rétablir facilement la verticalité du pivot, et enfin porter l'engin servant à les déplacer sur les poutres des ascenseurs. Le problème à résoudre était difficile et compliqué, et M. Guyenet auquel a été confiée la construction de ces grues s'en est tiré avec honneur.

Grue de montage (fig. 28, pl. 55-56). — L'appareil de levage qui fonctionnait dans chacun des piliers comprenait :

1° Un châssis mobile BB boulonné sur les poutres d'ascenseur, nécessaire quand la grue fonctionne et qui peut glisser sur ces mêmes poutres lorsqu'il devient nécessaire d'élever le niveau de la grue ;

2° Un ensemble de pièces métalliques, formant une sorte de hotte C, portant à sa partie supérieure, la plate-forme R de la grue et, à sa partie inférieure, la crapaudine du pivot de la grue. Cette hotte est suspendue au châssis BB par deux articulations situées dans le plan de la plate-forme et est reliée à la traverse inférieure du châssis par une vis. On comprend aisément, à l'inspection de la figure, qu'un homme placé sur le plancher spécial F peut, en manœuvrant cette vis, faire varier la position de la hotte et, par suite, ramener le pivot de la grue dans la verticale, quelle que soit l'inclinaison de la voie de l'ascenseur ;

3° La grue proprement dite se compose d'un pivot DD qui repose, à sa base, sur la crapaudine portée par la hotte et qui est maintenu en son milieu par un cercle de roulement placé dans l'épaisseur du plancher de la plate-forme ; d'une flèche L portant le treuil de levage Q ; laquelle flèche est reliée au pivot D, à son extrémité inférieure, par une articulation et, à son extrémité supérieure, par deux tirants M, réunis sur un essieu monté N qui peut se déplacer le long du pivot. Cet essieu porte un écrou actionné par une vis O. Un volant P, sur, l'axe duquel est un pignon engrenant avec une roue dentée conique, fixée à la vis permet, en faisant monter ou descendre l'essieu N, d'augmenter ou de diminuer la volée de la grue. En agissant sur le même volant P, on peut également communiquer un mouvement de rotation à la grue. A cet effet, on commence par débrayer le mécanisme de relevage et alors un second pignon monté sur l'axe du volant, vient engrener avec une roue conique fixée sur un arbre vertical, dont l'extrémité inférieure porte un pignon commandant une crémaillère circulaire faisant partie du cercle de roulement. Un rochet et un cliquet d'arrêt empêchent la grue de tourner lorsqu'on lui a donné l'orientation voulue.

Le déplacement de la grue sur le chemin des ascenseurs s'opérait au moyen de la grosse vis de halage I et des deux vérins de sécurité K. La vis I passe dans un écrou relié par deux tirants à la traverse supérieure du châssis B, elle porte à sa tête un sommier mobile G pouvant glisser sur les poutres d'ascenseur

A ou se boulonner sur elles. Un cliquet, muni d'un levier qu'on manœuvre de la plate-forme R de la grue, sert à actionner cette vis.

Les vérins de sécurité K agissant au-dessous du châssis mobile, suivant l'axe des poutres d'ascenseur. Ce sont des vérins à vis reliés par une entretoise H et qui portent à leur tête une buttée à semelle qui s'applique contre le longeron correspondant du châssis mobile BB. L'entretoise et les buttées peuvent, tour à tour, glisser sur les poutres d'ascenseur, ou être fixées sur elles au moyen de boulons.

Quand on voulait élever la grue, on commençait par l'orienter de manière que sa volée vînt se placer dans l'axe du chemin des ascenseurs en restant tournée vers l'intérieur de la Tour. On agissait alors sur la grosse vis I, de manière à amener le sommier de tête G à fond de course, soit à $2^m,50$ plus haut que dans sa précédente position. On le boulonnait sur les poutres d'ascenseur A et on déboulonnait ensuite le châssis mobile B, qui se trouvait alors suspendu à la vis I et supporté, à sa base, par les vérins de sécurité K. On manœuvrait à nouveau la vis de halage I et le châssis B montait en glissant sur les poutres A enlevant avec lui la grue et sa hotte. Des hommes installés sur le plancher I suivaient avec les vérins de sécurité le mouvement ascensionnel en maintenant toujours la tête de ces vérins en contact avec la base du châssis, de sorte que ce dernier, en cas de rupture de la vis I, n'aurait pu tomber, retenu qu'il était par les deux vérins K.

La course de ceux-ci n'était que de $0^m,50$, ce qui obligeait à faire un certain nombre de reprises pour accomplir l'entier déplacement de la grue. Quand ces vérins étaient arrivés à fond de course, on boulonnait leurs buttées sur les poutres A, on déboulonnait leur entretoise H qui, pendant le hissage, était restée fixée sur ces mêmes poutres A. En manœuvrant les vérins, en sens inverse, ceux-ci faisaient monter l'entretoise de toute la hauteur de leur course. On la reboulonnait sur les poutres A, on déboulonnait les buttées et l'on recommençait une nouvelle marche en avant, en actionnant derechef et simultanément la grosse vis I et les deux vérins de sécurité K.

Le montage de toutes les pièces constitutives des piliers de la Tour a été fait avec les grues dont la description vient d'être donnée. On commençait par monter les arbalétriers, et, après eux, les bancs de treillis et les entretoises qui, en réunissant les portions des piliers déjà montées, les obligeaient à venir occuper leur position exacte. Derrière les équipes de monteurs venaient les équipes de riveurs ceux-ci remplaçaient les boulons provisoires, avec lesquels les premiers avaient fait les jonctions des pièces, par des rivets posés à chaud assurant la véritable et définitive liaison des pièces entre elles.

Planchers de montage. — Escaliers. — Au-dessous de chaque grue, au niveau des entretoisements horizontaux, on établissait un plancher presque gé-

néral débordant en porte-à-faux sur tout le pourtour du montant. De plus, pour faire la rivure des joints et des assemblages, on se servait de petits échafaudages volants placés toujours à une faible distance du plancher général.

Le déplacement de ces planchers et de ces échafaudages s'opérait au moyen de grues.

Le montage des escaliers suivait autant que possible celui des piliers ; de sorte que les hommes, pour se rendre à leur poste de travail, se servaient de ces escaliers sur presque toute la hauteur du trajet et n'avaient à employer les échelles que vers la fin de leur ascension.

Pendant que, par les moyens indiqués, on avait fait le montage des quatre panneaux inférieurs des piliers, on avait effectué en même temps le montage des premières poutres horizontales qui devaient les relier à $47^m,90$ au-dessus du sol.

Montage des poutres horizontales du premier étage (fig. 26). — Ces poutres ont $7^m,834$ de hauteur et font un angle de 63° 18' avec l'horizontale ; elles sont situées dans les plans des faces extérieures et intérieures de la Tour et par suite distantes de 15 mètres d'axe en axe.

Des entretoises à treillis, ayant la même hauteur que les poutres, les relient deux à deux perpendiculairement. L'ensemble de ces poutres avec leurs entretoises ne pesait guère plus de 70.000 kilogrammes pour une face ; mais ce qui rendait leur montage difficile, c'était la grande hauteur à laquelle on devait le faire et aussi la forte inclinaison des poutres qui obligeait à les étayer jusqu'au moment où on les avait reliées, deux à deux par leurs entretoises. Enfin, par raison d'économie, les échafaudages sur lesquels on les montait n'avaient pas été établis sur la longueur entière des poutres ; ce qui forçait à monter en porte-à-faux, leurs parties extrêmes jusqu'à leur rencontre avec tous les piliers principaux.

Échafaudages de montage des poutres horizontales du premier étage. — Quatre échafaudages semblables ont été construits, un pour chaque face de la Tour. Ces échafaudages avaient 41 mètres de hauteur et se composaient de neuf montants verticaux de $0,25 \times 0,25$, espacés de $7^m,50$ dans un sens et de $7^m,75$ dans l'autre.

A cause des faibles charges que devaient supporter l'échafaudage, on n'avait pas jugé utile de les entrer sur des pieux battus dans le sol, comme cela avait été fait pour les échafaudages de buttée. Ces poteaux s'appuyaient simplement sur des semelles reposant sur le terrain. Ils étaient contreventés dans tous les sens par des croix de Saint-André formées par des bois de $0,22 \times 0,11$ et reliés horizontalement par sept cours de moises de $0,25 \times 0,12$. Des contrefiches disposées à leur partie supérieure permettaient de donner à la plate-forme de mon-

tage 28^{m},50 de longueur sur 22,40 de largeur. Enfin, une autre série de contre-fiches, montant un peu moins haut que celles qui supportaient la plate-forme de montage, soutenaient un cintre, qui servit plus tard à mettre en place la partie centrale des arcs décoratifs. Chaque échafaudage comportait 265 mètres cubes de bois ; ce qui donnait pour les quatre échafaudages un cube total de 1 060 mètres cubes.

Le montage proprement dit de ces poutres n'offrait rien de particulier ; il s'effectuait au moyen de chèvres établies sur la plate-forme. Quand il fut terminé, on procéda au raccord de ces poutres avec les piliers.

Réunions des piliers avec les poutres horizontales du premier étage. — C'était le moment particulièrement difficile de l'opération. Les quatre piliers surplombant les échafaudages de buttée d'un porte-à-faux d'environ 26 mètres, semblaient, avec leur grande inclinaison, être sur le point de se renverser. Ils avaient à ce moment une longueur de 58 mètres et pesaient près de 400 000 kilogrammes. C'étaient des grands prismes d'un poids énorme dont les dimensions étaient voisines de celles des tours de Notre-Dame-de-Paris, qu'il s'agissait de manœuvrer de manière à les amener en contact avec les poutres horizontales avec lesquelles ils devaient se jonctionner, et il fallait arriver à opérer ces mouvements avec une précision telle que les trous de rivets percés à l'avance dans les goussets de jonction des poutres et des piles vinssent absolument en regard les uns des autres. C'est au moyen des boîtes à sable, portées par les échafaudages de buttée et au moyen des presses hydrauliques décrites précédemment, qu'on effectua cette manœuvre. Agissant tantôt sur un arbalétrier, tantôt sur un autre, soit pour l'abaisser, soit pour le relever, on arriva à obtenir le contact désiré.

L'implantation des quatre montants était si exacte, leur exécution si parfaite, qu'on put arriver à les assembler avec les poutres de ceinture sans qu'il fût besoin de donner un coup de burin pour retoucher les pièces en contact, ni un coup d'alésoir pour augmenter le diamètre des trous qui devaient recevoir les rivets d'assemblage.

C'était le point le plus délicat du montage de la Tour, et ce point franchi, le succès final était assuré. Les piliers, étant réunis par les premières poutres-ceintures, formaient comme une table solide, largement assise et dont la vue seule suffirait pour écarter toute crainte de renversement. On n'avait plus à redouter d'accident d'ensemble et les accidents partiels qui auraient encore pu se produire n'auraient pas été de nature à compromettre l'achèvement de la construction.

Montage des diverses poutres formant les planchers du premier étage. — Une fois faite la jonction des piliers et des premières poutres horizontales,

la mise en place des nombreuses poutres formant les planchers du premier étage se fit sans aucune difficulté. Les hommes travaillaient sur des plate-formes en charpente, aussi commodément installés que dans un atelier. On arriva ainsi au niveau du premier étage, soit à $57^{m},63$ au-dessus du sol du Champ de Mars.

Montage de la Tour du premier au deuxième étage. — Dans ce tronçon, le montage des piliers se continua, comme pour la partie inférieure, au moyen des grues que l'on hissait progressivement sur les chemins des ascenseurs. Seulement, comme l'inclinaison des piliers variait d'un panneau à l'autre, on était obligé de ramener les pivots des grues dans la verticale, chaque fois que l'on s'était élevé à la hauteur d'un panneau. Cette opération se faisait d'ailleurs avec la plus grande facilité, en manœuvrant la vis fixée à la base du pivot, ainsi qu'il a été expliqué précédemment.

A mesure qu'on s'élevait, le temps nécessaire pour le levage des pièces augmentait; en même temps, la chaîne de levage, devenant beaucoup plus longue, ajoutait un poids important à celui des pièces que les grues soulevaient. Pour obvier à ces deux inconvénients : lenteur trop grande de la montée et augmentation des charges à hisser, on établit un monte-charge à vapeur au niveau du premier étage.

Monte-charge à vapeur du premier étage. — Ce monte-charge était établi au bord intérieur de la partie du plancher du premier étage faisant face à l'École militaire. A partir de ce moment tous les matériaux étaient amenés par une voie au-dessous de ce monte-charge, au lieu d'être répartie entre les quatre piliers comme précédemment. Attachés à la chaîne du monte-charge, ils étaient levés rapidement jusqu'au niveau du premier étage; arrivés là, ils étaient déposés sur des wagonnets qui, suivant une voie circulaire portée par le plancher du premier étage, allaient les conduire au droit du pilier auquel ils étaient destinés, d'où ils étaient repris par la grue de montage qui les mettait en place.

En opérant ainsi, on arriva jusqu'au deuxième étage, c'est-à-dire à $115^{m},21$ au-dessus du sol.

Montage de la Tour du deuxième au troisième étage. — On a vu dans la description générale de la Tour, qu'à partir du deuxième étage, le système de construction change complètement. Les quatre piliers distincts disparaissent, leurs faces extérieures se confondent deux à deux en une seule, de sorte que, jusqu'au troisième étage, la partie supérieure de la Tour forme une grande cage vide en forme de tronc de pyramide. Les chemins de roulement des ascenseurs n'existent plus, car le système employé pour la partie supérieure comporte des cabines suspendues et non plus des cabines roulantes. On voit d'après cela, que la méthode employée pour le montage devait, à partir du deuxième étage, être radicalement modifiée.

Il n'était plus possible de conserver les quatre grues. La section horizontale de la Tour allait d'ailleurs en se rétrécissant de plus en plus, et deux grues devenaient suffisantes pour desservir tous les points de la construction. Il s'agissait de leur constituer un chemin vertical, en remplacement du chemin de roulement des ascenseurs sur lequel elles s'étaient hissées jusque-là.

Dans l'axe de la Tour, du deuxième au troisième étage, on a établi un pilier vertical qui sert de guide principal aux cabines de l'ascenseur. Ce pilier central est formé par une poutre en caisson dont les âmes à treillis ont $0^m,80$ de hauteur (mesurées normalement) et les semelles de 0,60 de largeur (horizontale). La largeur des semelles n'était pas assez grande pour que celles-ci pussent servir directement de surface d'appui aux châssis des grues qui avaient été construits pour glisser sur les poutres des ascenseurs inférieurs dont l'écartement est de $3^m,80$; mais en appliquant sur ces semelles des cadres dont les bordures verticales présentaient précisément cet écartement de $3^m,80$, on parvint à créer un chemin convenable pour le halage des deux grues qui devaient parachever le montage.

Ces cadres étaient disposés de chaque côté du pilier-guide central des ascenseurs. Ils se composaient de deux poutres-bordures sur lesquelles on boulonnait le châssis des grues et d'une troisieme poutre médiane qui s'attachait sur la semelle du pilier-guide. Ces trois poutres étaient reliées entre elles par des entretoises horizontales et une croix en cornières. La hauteur des cadres était de 3 mètres. Trois cadres superposés jointivement formaient un chemin vertical de 9 mètres de hauteur, suivant lequel la manœuvre des grues pouvait se faire exactement de la même manière, et avec la même sécurité que sur les poutres des ascenseurs inférieurs.

Les cadres placés de chaque côté du pilier-guide étaient reliés latéralement par un treillis en cornières de manière à former une cage rectangulaire, au milieu de laquelle se trouvait emprisonné le pilier central. On élevait simultanément les deux grues qui s'équilibraient à vide et ne tendaient à faire fléchir le pilier que lorsque l'une d'elles seulement était en charge. La flexion du pilier était combattue d'abord par les grandes entretoises qui le reliaient, dans chaque plan d'entretoisement, aux angles de la Tour, et ensuite par des contrefiches supplémentaires et provisoires qui s'attachant par une extrémité sur la partie centrale de la grande entretoise, étaient fixées par l'autre extrémité aux arbalétriers de la Tour.

Quand les grues avaient parcouru un jeu de cadres de 9 mètres, on s'en servait pour disposer à l'avancement un second jeu de même hauteur à la suite du premier. On élevait les grues sur ces nouveaux cadres ; les anciens cadres devenaient disponibles, attendant qu'on vînt les démonter toujours au moyen des grues pour être remontés plus haut.

Le relevage des grues, y compris le déplacement d'un jeu complet de cadres

de 9 mètres de hauteur n'exigeait que quarante-huit heures, temps assurément très court si l'on considère qu'il s'agissait de déplacer, par reprises successives, un ensemble d'engins dont le poids total atteignait 45 000 kilogrammes. Les grues une fois installées pouvaient sans changer d'altitude, monter un panneau tout entier.

Relais au deuxième étage et au plancher intermédiaire. — De même qu'on avait été conduit à installer un monte-charge à vapeur au premier étage, de même on dut en installer successivement un au deuxième étage, et enfin, un au troisième sur le plancher intermédiaire situé à 197 mètres de hauteur. C'est au niveau de ce plancher que les cabines des ascenseurs supérieurs se rencontrent et que se fait le transbordement des voyageurs.

En procédant comme il vient d'être dit, on arriva à la plate-forme du troisième étage à la fin de février 1889, et, un mois après, le montage était complètement terminé.

Renseignements divers. — Dates relatives aux différentes phases du montage. — Commencement du montage : 1er juillet 1887 ;

Fin du montage des quatre premiers panneaux des piliers : 4 décembre 1887 ;

Commencement du montage des premières poutres horizontales : 18 décembre 1887 ;

Fin du montage des poutres du premier étage : 1er mars 1888,

Commencement du montage des piliers au-dessus du premier étage : 1er avril 1888 ;

Arrivée au deuxième étage : 14 août 1888,

Arrivée au plancher intermédiaire : 30 novembre 1888 ;

Arrivée au troisième étage : 24 février 1889 ;

Arrivée au sommet : 31 mars 1889 ;

Le montage des arcs décoratifs s'est fait en juillet et août 1888.

Nombre d'ouvriers. — Le nombre d'hommes occupés au chantier variait suivant les époques, de 150 à 200, se répartissant comme suit :

1 chef de chantier ; 1 sous-chef de chantier ; 8 chefs d'équipe ; 25 à 57 charpentiers ; 15 montants ; 2 forgerons ; 4 mécaniciens ; 32 à 50 riveurs ; 40 manœuvres ; 5 gardiens ; 15 gamins.

Durée des opérations principales. — Le montage d'un panneau de 11 mètres de hauteur dans la partie inférieure des piliers, c'est-à-dire entre le sol et le deuxième étage, exigeait, en moyenne, dix jours et nécessitait deux déplacements des grues. Les panneaux pesaient environ 80 000 kilogrammes par piliers ; on en montait quatre simultanément.

Au-dessus du deuxième étage, il fallait sept jours pour élever la construction de la hauteur d'un panneau ; les deux grues étaient hissées en une seule fois de toute la hauteur du panneau.

Le nombre de rivets posés au chantier est un peu supérieur à un million. Le poids du métal entrant dans la Tour est de 7 400 000 kilogrammes. Si l'on divise ce nombre par 21, nombre des mois employés au montage, on trouve une moyenne de 47 500 rivets posés par mois et un poids de 350 000 kilogrammes mis en place pendant le même temps. En divisant la hauteur, 300 mètres, par le nombre de jours écoulés depuis le 1er juillet 1887 jusqu'au 31 mars 1889, soit 639 jours, on trouve une élévation moyenne par jour de $0^m,47$.

C'est le 31 mars 1889 que fut terminé le montage de l'ossature métallique de la Tour. Il avait duré 21 mois, pendant lesquels les ouvriers ne s'étaient jamais arrêté malgré deux hivers dont la rigueur se faisait durement sentir à la grande hauteur à laquelle ils travaillaient. Tous les ouvriers, fiers de l'œuvre à laquelle ils collaboraient, admirablement dirigés par le chef de chantier, M. Compagnon et par M. Milon son second, qui tous les deux, donnant l'exemple, se montraient toujours aux endroits les plus dangereux ; tous sans exception, avaient fait preuve d'une énergie et d'un courage au-dessus de tout éloge.

Un succès complet couronnait enfin leurs efforts et ce fut par une magnifique acclamation sortie du fond des cœurs que fut salué le drapeau tricolore, quand il fut hissé ce jour-là, pour la première fois au sommet de la Tour de 300 mètres. Nous ne pouvons faire mieux pour rendre hommage à ce travail gigantesque que de nous associer à l'appréciation de M. Alfred Picard dans son substantiel rapport sur l'Exposition de 1889 : le montage de la Tour fait le plus grand honneur à M. Eiffel et à ses collaborateurs. Il a été organisé et dirigé avec un rare talent, et peut être cité comme un modèle d'ordre, de simplicité, d'ingéniosité, de précision, de rapidité et de sécurité.

Plates-formes. — Campanile. — Décoration de la Tour. — La plate-forme du premier étage à 48 mètres au-dessus du sol est carrée ; elle présente une étendue superficielle de 4 200 mètres carrés. Au centre on a ménagé une ouverture carrée d'où l'œil peut plonger jusqu'au sol. Une galerie couverte extérieure à arcades dorées règne sur tout le pourtour de 283 mètres de développement. Cette galerie forme un promenoir de $2^m,60$ de largeur. Le plancher est constitué par des fers à T et des poteries creuses.

L'architecte, M. Sauvestre a tiré un excellent parti de la superficie énorme du premier étage. Il y a disposé quatre salles destinées à des restaurants ou des brasseries pouvant contenir chacune 500 à 600 personnes. Ces salles présentent une décoration différente. Elles ont été affectées pendant la durée de l'Exposition à un restaurant français, à un restaurant russe, à une brasseries flamande

et à un bar anglo-américain. Les cuisines et les caves sont en contre-bas logées dans la charpente métallique de la Tour.

La deuxième plate-forme, située à 196 mètres au-dessus du sol, présente une superficie de 1 400 mètres carrés (37 mètres de côté environ). Sur le pourtour qui a un développement de 150 mètres, on a établi une galerie couverte de $2^m,60$ de largeur, analogue à celle du premier étage.

La partie centrale de cette deuxième plate-forme sert de garage entre les ascenseurs inclinés des deux premiers étages et l'ascenseur vertical et final qui conduit au sommet de la Tour. Pendant la durée de l'Exposition, le journal le *Figaro* y avait installé une imprimerie. Il y avait aussi sur cette plate-forme une boulangerie et un bar.

La troisième plate-forme est à $276^m,13$ au-dessus du sol. Elle a $18^m,50$ de côté et présente une étendue superficielle de 340 mètres carrés. Elle porte une galerie couverte garnie de glaces sur tout son pourtour d'où l'on peut observer, à l'abri des intempéries, le panorama magnifique qui s'y développe dans un champ considérable de 70 kilomètres de rayon.

Au-dessus de cette dernière galerie, destinée au public, on accède, par un petit escalier tournant, à une plate-forme découpée en plusieurs pièces affectées, les unes à un laboratoire scientifique, les autres à un petit appartement particulier que M. Eiffel s'est réservé. Sur le balcon de cette plate-forme est disposée une petite voie ferrée où peuvent circuler le soir deux projecteurs électriques Mangin.

Par dessus la galerie du dernier étage se dressent deux arceaux dirigés suivant les diagonales de la section carrée de la Tour. Ces arceaux portent l'édicule du phare. On peut accéder à la base de cet édicule, soit par un escalier en hélice qui s'enroule à l'air libre autour d'un gros tuyau placé dans l'axe de la Tour, soit par l'intérieur même de ce tuyau qui est muni d'une échelle. Quelques échelons gravis dans le tuyau conduisent à la lanterne. On arrive à la terrasse de $1^m,80$ de diamètre qui porte la lanterne et qui est à 300 mètres du sol. C'est là que flotte le drapeau français.

Escaliers. — Les trois grandes plate-formes de la Tour sont desservies par des escaliers. Dans chacune des piles *est* et *ouest* est disposé, entre le sol et la première plate-forme, un escalier droit de 1 mètre de largeur de 360 marches et coupé par de nombreux paliers. L'escalier ouest était spécialement affecté à la montée pendant l'Exposition; sept minutes suffisent pour le gravir. Il peut débiter 2 000 personnes par heure. L'escalier *est* était réservé à la descente.

Au-delà du premier étage et jusqu'au deuxième, un escalier héliçoïdal de $0^m,60$ de largeur sans palier est disposé dans chacune des quatre piles. Ces escaliers sont plus raides que les précédents et comprennent chacun 380 marches. Deux de ces escaliers sont affectés à l'ascension des visiteurs et les deux autres à la descente. Ces escaliers assurent la circulation de 2 000 personnes à l'heure.

Du deuxième étage jusqu'au sommet est disposé un escalier héliçoïdal d'une

hauteur de 60 mètres qui n'est pas mis à la disposition du public et qui est un escalier de service.

Nous ne parlerons pas ici des ascenseurs parce qu'ils ont été traités dans la septième partie de cette Revue.

Protection de la Tour Eiffel contre la foudre. — Une commission spéciale de trois membres avait été chargée de donner son avis sur les précautions à prendre en vue de protéger la Tour contre les accidents de la foudre. Cette Commission comprenait MM. Becquerel, membre de l'Institut, Mascart, de l'Institut, directeur du bureau central météréologique et Georges Berger, président honoraire de la Société internationale des électriciens. Le problème consistait à mettre la masse métallique en communication parfaite avec la couche aquifère du sous-sol.

Dans ce but, la Commission précitée proposa l'immersion dans l'eau de gros tuyaux en fonte, mis en communication avec les parties inférieures de la superstructure métallique de la Tour au moyen de câbles, barres ou lames de cuivre présentant une section suffisante pour laisser passer une quantité considérable d'électricité. Les attaches de ces conducteurs avec les pièces métalliques devaient s'épanouir de manière à multiplier les points de contact.

La Commission recommanda de mener de front les travaux de protection et les travaux de fondation des socles, afin de préserver les ouvriers, dès que la construction de la Tour aurait atteint une certaine hauteur. Toutes ces mesures ont été prises. Dans chaque pile, l'écoulement de l'électricité atmosphérique se fait dans le sol au moyen de deux conduites de fonte de $0^{m},50$ de diamètre, qui sont immergées au-dessous du niveau de la nappe aquifère sur une longueur de 18 mètres et qui se retournent verticalement à leur extrémité jusqu'au niveau du sol, où ils sont mis en communication avec la masse métallique de la Tour.

Condition de sécurité de la Tour. — Travail maximum du métal dans la Tour en service. — D'après un rapport de M. Contamin, présenté vers la fin de la période de l'Exposition, l'ossature métallique de la Tour s'est comportée aussi bien qu'on pouvait le désirer ; elle n'a subi aucune déformation apparente. Jamais elle n'a éprouvé d'oscillations ni même de vibrations sensibles, sous l'action de fortes bourrasques et de l'affluence des visiteurs. Le fait est d'autant plus remarquable, en ce qui concerne l'influence du vent, que les édifices élevés sont parfois soumis à des oscillations d'une grande amplitude. Cela s'observe pour les cheminées d'usines et dans les phares. Dans ces derniers, on a observé des mouvements assez forts pour faire déverser le liquide contenu dans un vase et pour déplacer les objets mobiles et pour produire une impression analogue à celle du balancement d'un navire. Des phénomènes analogues ne se sont pas produits dans la tour de 300 mètres. On doit attribuer cela à

plusieurs circonstances : d'une part, à la proportion considérable des vides par rapport aux pleins d'où il résulte une facilité très grande du passage de l'air à travers la charpente et d'autre part à la grande assiette de la Tour sur sa base, ce qui doit atténuer l'amplitude des oscillations. On a fait remarquer que les efforts moléculaires de la matière dépassent, dans la plupart des éléments de la Tour, les limites ordinairement admises dans les constructions métalliques. L'excédant est dû aux augmentations de poids des diverses parties de la Tour sur les poids projetés.

En effet, le projet ne prévoyait que 6 300 000 kilogrammes de métal, tandis que les relevés ont accusé un poids de 7 350 000 kilogrammes, soit une augmentation d'un 1/6 sur les poids projetés. De même le poids des matériaux divers, autres que le métal, avait été évalué au projet à 1 540 000 kilogrammes ; ce chiffre a été notablement dépassé par suite du développement donné aux constructions accessoires du premier étage et autres. Dans l'ensemble, l'augmentation de poids est comprise entre 1/5 et 1/6.

Sans aucune surcharge accidentelle, les compressions des montants devaient osciller autour de 8 kilogrammes par millimètre carré. Un ouragan exerçant une pression de 300 kilogrammes par mètre superficiel, la compression par millimètre dépasserait 11 kilogrammes. La présence de 10 000 personnes dans la Tour augmenterait encore d'un demi-kilogramme la compression des montants.

Dans ce qui précède, nous avons reproduit l'opinion d'ingénieurs compétents et soucieux de la sécurité de la Tour ; mais tout en reconnaissant qu'on ne saurait être trop prudent dans un ouvrage aussi exceptionnel que celui de la Tour, nous nous permettrons de faire observer qu'en admettant un grand vent, pouvant produire une pression de 300 kilogrammes par mètre carré, nous pensons que dans l'application à la Tour Eiffel, cette pression se réduit nécessairement dans une grande proportion. Cette réduction doit résulter de la grande proportion des vides que présente la construction métallique. Ainsi, les évidements qui étaient indispensables au point de vue de l'économie et qui se prêtent si bien à la décoration ont encore l'avantage de fournir un facteur à la stabilité de l'ouvrage.

D'après ce qui vient d'être dit, la Tour présente une grande sécurité.

Il est impossible d'assigner une limite à la durée d'une telle construction, mais on comprend qu'un bon entretien et une grande surveillance peuvent reculer cette limite à bien des siècles. Les monuments métalliques perfectionnés rivaliseront peut-être pour la durée avec les monuments en pierre.

Prix de revient de la Tour Eiffel. — Le poids du métal entrant dans la Tour est évalué à 7 347 tonnes, non compris la machinerie des ascenseurs. Les dépenses de la construction s'est élevé à 7 457 000 francs. Le devis primitif était de 6 millions ; la dépense s'est accrue de 24 % sur le chiffre du projet.

Pendant la période de 176 jours comprenant le premier jour d'accès du public à la Tour Eiffel jusqu'au jour de la clôture de l'Exposition, le nombre de visiteurs a été de 3 799 040 et la recette totale a été de 6 509 901 francs. La moyenne des visiteurs a donc été de 21 400 par jour.

Nous rappelons que le tarif des jours ouvrables était de 2 francs pour la première plate-forme, 3 francs pour la deuxième et 5 francs pour la troisième. Le dimanche et les jours de fête entre 11 heures du matin et 6 heures du soir, le tarif était réduit à 1 franc, 1 fr. 50 et 2 francs.

Vérification de la verticalité de la Tour Eiffel — En 1889, pendant que le montage de la Tour se terminait, des expériences ont été faites par M. Eiffel et la Direction générale des travaux de l'Exposition afin de vérifier la verticalité de la Tour.

L'instrument employé était le théodolite. Il fallait vérifier que les plans médians, c'est-à-dire les plans qui partagent en deux parties égales ses quatre faces, coïncidaient avec des plans verticaux passant par le centre du carré de base. Quatre expériences ont été faites respectivement pour les quatre faces.

Les plans médians étaient définis par des points tracés sur chacune des quatre faces. Les expériences ont été faites en éloignant le théodolite aussi loin que possible des faces de la Tour aux distances respectives de 160 mètres, 200 mètres, 250 mètres et 300 mètres. Trois faces n'ont donné lieu à aucune déviation, une seule a donné une très légère déviation se rapportant à un point appartenant au balcon en encorbellement. Cette déviation ne peut donc intéresser en aucune façon les parties métalliques de l'ossature générale. Ces expériences concluantes établissent qu'il n'y a pas eu de tassement dans les fondations de la Tour.

ÉTUDE

SUR LES

Habitations ouvrières exposées en 1889

PAR M. ÉMILE CACHEUX

Parmi les questions sociales qui ont pu être étudiées à l'Exposition de 1889, celle des habitations ouvrières figure en première ligne, grâce au nombre de documents qui ont été réunis par les soins du Comité de la Section d'économie sociale qui s'est occupé de les exposer. Des industriels ont élevé des bâtiments analogues à ceux dans lesquels ils logent leurs ouvriers; ils les ont meublés comme ils le sont en réalité, de façon à donner l'idée de la manière de vivre de leur personnel. Un grand nombre de maquettes, de plans, de brochures et d'ouvrages concernant les habitations ouvrières, qui ont été exposés, soit dans les galeries de l'exposition d'économie sociale, soit dans diverses parties du Champ de Mars et du Trocadéro, ainsi que le Congrès des habitations à bon marché, qui a réuni des spécialistes de tous les pays, ont démontré l'importance qui est universellement attachée au logement des travailleurs.

Les documents relatifs aux habitations ouvrières n'ont pas été classés suivant un ordre méthodique; c'est pourquoi nous suivrons pour en rendre compte le système que nous avons adopté dans notre ouvrage sur les habitations ouvrières en tous pays, nous étudierons les logements des travailleurs tels qu'ils doivent être, et nous dirons ce qui a été fait pour les mettre à la disposition des ouvriers.

Les logements d'ouvriers peuvent être divisés en deux classes :

1° Les logements pour ouvriers célibataires;

2° Les logements pour ménages d'ouvriers employés, soit dans l'industrie, soit dans l'agriculture.

Logement des ouvriers célibataires

Les ouvriers célibataires sont logés, soit chez leur patron, soit dans des familles, soit dans des hôtels spécialement construits pour eux.

Les patrons logent en général leurs ouvriers dans de très mauvaises conditions.

Nous trouvons dans l'ouvrage exposé par MM. Muller et Cacheux qu'en Allemagne des apprentis couchent dans des lits superposés en un nombre tel, que l'occupant du lit le plus élevé touche le plafond quand il se place sur son séant.

Les ouvriers agricoles couchent très souvent dans les écuries. On prétend que cette coutume n'est pas malsaine, néanmoins il est difficile d'admettre qu'elle n'ait pas une certaine influence sur la santé des ouvriers lorsqu'on consultera la statistique qui démontre qu'en Angleterre la vie moyenne des fermiers est de dix ans supérieure à celle de leurs domestiques.

Très souvent l'ouvrier célibataire prend pension dans une famille qui veut diminuer le prix de son loyer. Les avantages pécuniaires qui résultent de cette méthode ne compensent pas les inconvénients produits par l'introduction d'un étranger dans une famille.

Une pratique qui se rapproche de celle qui était très répandue du temps du compagnonnage est souvent employée par des veuves qui louent un local pour y loger des ouvriers. Elles leur donnent une bonne soupe le matin, elles raccommodent leurs effets et remplacent dans ses attributions la mère des compagnons.

Dans l'industrie on a souvent beaucoup d'ouvriers qu'on n'occupe pas d'une façon constante. Lorsqu'on les emploie pendant les beaux jours, comme ceux qui font la moisson, on se contente en général de les abriter contre les intempéries en les logeant dans un local couvert, dans une grange, par exemple ; mais il n'en est plus de même lorsqu'il faut les conserver pendant un certain temps.

En Allemagne, les municipalités forcent à construire des habitations ouvrières, les industriels qui demandent l'autorisation de créer une industrie susceptible de produire une agglomération d'habitants et par suite d'occasionner de l'encombrement dans les maisons qui existent.

Lorsque les usines sont établies dans des pays déserts, les industriels sont également forcés de construire des logements pour les ouvriers. Lorsque l'usine ne doit avoir qu'une durée temporaire, l'industriel établit des baraquements facilement démontables. Plusieurs entrepreneurs s'occupent spécialement de ce genre de constructions. Un des plus connus est M. Poitrinneau qui a exposé un spécimen de ses produits à l'Esplanade des Invalides. En Suède, des constructeurs fabriquent de toutes pièces des maisons en bois qu'ils commencent à exporter en assez grand nombre dans divers pays.

En Russie, beaucoup d'ouvriers travaillent pendant neuf mois de l'année dans des usines, et ils vont passer les trois autres au milieu de leur famille. Les ouvriers célibataires sont assez mal logés en Russie, on les fait coucher dans de vastes dortoirs où, souvent lorsque le travail est continu, deux hommes ont un seul lit à leur disposition pour l'occuper alternativement l'un pendant le jour, l'autre pendant la nuit.

Les ouvriers russes ne se déshabillant pas comme les nôtres, l'usage d'un lit commun n'a pas autant d'inconvénients qu'il en aurait dans notre pays.

C'est en Belgique qu'il existe une des plus belles installations pour loger les ouvriers célibataires. Elle est connue sous le nom d'*Hôtel Louise;* les plans sont contenus dans l'ouvrage intitulé l'*Économiste pratique* (1). L'hôtel a été établi par les ouvriers des charbonnages du Hasard.

Lorsque le mineur sort de la mine, il va prendre un bain. Il trouve dans sa cabine un vêtement propre qu'il échange contre ses habits de travail, et il se rend ensuite soit au réfectoire, soit dans une des institutions qui ont été créées pour lui permettre de passer agréablement ses moments perdus.

L'hôtel Louise serait parfait s'il n'était habité que par des célibataires ; malheureusement, beaucoup d'hommes mariés y passent la plus grande partie de leur existence, et abandonnent pendant six jours sur sept leurs familles obligées de se fixer dans des communes voisines pour y trouver les choses indispensables aux besoins de la vie. Au début, les propriétaires des charbonnages du Hasard avaient construit des maisons pour familles d'ouvriers; malheureusement, les ouvriers n'aiment pas voir leur famille dans des endroits déserts : par suite, ils ne s'empressèrent pas d'habiter les maisons, et, d'un autre côté, le prix de revient du logement d'un ouvrier marié s'élevait à 1,600 francs, lorsqu'on le lui fournissait dans une maison, tandis qu'il était réduit à 900 francs, lorsque l'on le lui donnait dans l'hôtel Louise; par suite, la Société ne construisit plus d'habitations ouvrières.

Nous croyons que l'industriel, qui occupe beaucoup d'ouvriers, doit se préoccuper d'assurer leur logement, de façon à ce qu'il ne soit pas séparé des siens ; notre opinion est partagée car dans les plans exposés il y avait très peu d'hôtels pour ouvriers célibataires, et la distribution des logements pour les travailleurs mariés était étudiée de façon à permettre la vie de famille.

Logements pour ménages d'ouvriers agricoles & industriels

COMPOSITION D'UN LOGEMENT D'OUVRIER.

Un logement complet d'ouvrier doit se composer, d'après une résolution adoptée par le Congrès d'hygiène, d'une salle commune, de deux chambres à coucher pour séparer les sexes pendant la nuit, d'une cuisine et de dépendances suffisantes pour permettre à l'ouvrier de conserver quelques provisions.

D'après MM. Muller et Cacheux, il faut compter sur une surface couverte de 40 à 50 mètres carrés pour loger convenablement un ménage d'ouvriers, composé

(1) L'*Économiste pratique.* — Crèches, écoles, maisons d'ouvriers, etc., par E. Cacheux. Baudry et Cᵉ, à Paris.

de plus de quatre personnes. M. Carl Romstorfer, dans son ouvrage sur les habitations ouvrières agricoles, estime qu'il faut une surface plus considérable, car il donne à la cuisine des dimensions aussi grandes qu'à une chambre à coucher.

Dans les campagnes, la cuisine est une pièce principale ; la ménagère y passe la plus grande partie de sa vie. Le logement d'un ouvrier agricole doit comprendre également ;

1° une écurie pour y tenir, soit un porc, soit une ou deux chèvres, soit même une vache ;

2° un bûcher ;

3° un grenier à fourrage, etc.

Habitation pour une ou plusieurs familles

On a lontemps discuté la question de savoir s'il fallait construire des habitations ouvrières pour une famille, ou des maisons susceptibles d'en contenir plusieurs. Chaque genre de maisons a ses partisans et ses adversaires, attendu qu'il existe autant d'ouvriers amateurs d'un logement dans une maison à étages, qu'il y a des personnes aisées préférant à un hôtel un appartement de plein pied dans un bâtiment habité par plusieurs locataires.

Néanmoins, on peut poser comme règle générale que, dans les campagnes, où le terrain est à bon compte, on préfère les maisons pour une famille, et que, dans les villes, les conditions économiques obligent les constructeurs d'habitations ouvrières à adopter le système des maisons à étages.

Le principal obstacle qui s'oppose à la construction des maisons pour une famille provient de leur prix de revient causé par l'établissement des voies de communication, les frais de clôture, la fourniture d'eau, etc. Néanmoins, lorsqu'on construit un certain nombre de maisons à la fois, on peut réduire les frais accessoires, et établir une maison pour une famille dans des conditions aussi économiques qu'un logement dans une maison à étages. En groupant convenablement les petites maisons, on peut donner à leur ensemble un certain cachet architectural, comme M. Durlet en a imprimé un à celles du bureau de bienfaisance d'Anvers. Il sera possible également de les disposer comme celles de MM. Cockerill, à Seraing, ou de M. Mame, à Tours, de façon que les façades principales aient vue sur un jardin anglais dont la jouissance est accordée aux locataires.

Malgré les heureux effets obtenus par le groupement des maisons pour une famille, et la variation donnée à leur façade, M. Godin a trouvé qu'il fallait mettre à la disposition de l'ouvrier une demeure aussi belle d'aspect que celle d'une personne aisée, et il a construit à Guise le *familistère*, splendide bâtiment où logent 1 800 personnes.

Une très belle maquette, exposée dans la section d'économie sociale, relative à la participation aux bénéfices, permet de se rendre compte du confort dont jouissent les habitants du familistère. Malgré ses millions, M. Godin a habité jusqu'à sa mort, un petit appartement situé dans le familistère, et il a prouvé ainsi que les patrons pouvaient demeurer au milieu de leurs ouvriers.

Le principal avantage des maisons pour une famille consiste dans la possibilité de les vendre aux locataires moyennant le paiement d'une annuité dont la valeur ne dépasse pas celle du loyer d'un logement d'une surface équivalente. On sait que les locataires des petits logements ne les habitent généralement pas en bon père de famille, par suite le montant des charges diminue considérablement le revenu net des capitaux consacrés à les loger. Lorsqu'on a une certaine action sur les ouvriers, on peut les forcer à payer les réparations causées par leur négligence, mais dans la plupart des cas il n'est pas possible d'avoir un recours contre eux, c'est pourquoi on a imaginé de les rendre propriétaires de leur demeure en appliquant à leur compte les économies qu'ils font réaliser sur les frais d'administration relatifs aux maisons qu'ils habitent. Grâce aux banques foncières qui prêtent aujourd'hui de l'argent remboursable en cinquante années, des constructeurs arrivent à vendre des maisons moyennant le paiement d'annuités dont la valeur est inférieure à la valeur locative d'une maison.

Les adversaires de la petite propriété prétendent qu'il vaut mieux appliquer les économies réalisées par le fait de l'ouvrier qui habite convenablement sa maison à l'acquisition de valeurs dites de père de famille ou même les leur rembourser à l'expiration de chaque année. Nous ne connaissons qu'une tentative de ce genre qui ait réussi; elle a été faite par M. Defuisseaux, de Bruxelles, qui parvint à faire l'acquisition d'une maison rapportant 10 % net, il préleva sur le revenu brut l'intérêt à 5 % du prix de revient ainsi que le montant des charges et une somme suffisante pour amortir le capital primitif et tenir la maison en bon état, puis il partagea le reste à ses locataires proportionnellement à la valeur locative de leurs logements.

Une autre objection relative à la petite propriété consiste dans l'existence du partage forcé en France. On dit que lorsqu'un homme a travaillé toute sa vie pour obtenir une maison, ses héritiers peuvent dissiper en frais de justice tous les fruits d'une vie de travail et d'économie.

Nous ne conseillerons pas à un ouvrier d'employer ses économies à faire l'acquisition d'une petite maison située dans un pays dont la prospérité dépend de l'existence d'une seule usine, mais nous n'hésiterons jamais à l'engager d'acheter une petite propriété moyennant le paiement d'une annuité dont la valeur est de très peu supérieure à celle d'un loyer ordinaire, d'autant plus que l'acquéreur peut employer ses moments perdus à embellir sa propriété et à en augmenter considérablement la valeur.

La petite propriété a été en Angleterre et en Amérique la base de la création de *Building Societies* qui ont permis d'une part de construire des logements convenables pour les travailleurs et d'autre part de placer à un taux plus élevé que celui qui est desservi par les caisses d'épargne les petites sommes dont disposent les travailleurs.

Les industriels n'ont aucun intérêt à rendre les ouvriers propriétaires des maisons ouvrières qu'ils construisent, car il font en général des sacrifices pour bien loger leur personnel et il n'est pas rare de voir les propriétaires de maisons abandonner l'usine pour exercer des métiers divers. La vente des maisons peut même causer du tort à une société de spéculation tant qu'elle restera propriétaire d'immeubles voisins de ceux qu'elle aura aliénés.

Les règlements les mieux faits ne peuvent empêcher le propriétaire de jouir de sa propriété de façon à incommoder ceux qui demeureront à côté de lui. On pourra lui interdire d'exercer une industrie insalubre ou immorale, mais il est tant de manières d'être désagréable à ses voisins tout en restant dans la légalité, qu'on comprend les inconvénients qui peuvent résulter de la vente de maisons faisant partie d'un groupe d'habitations créées en vue de la spéculation. Un exemple de ce que nous avançons est donné par *The Artisans dwellings Company*. Cette Société vendit quelques maisons de sa propriété de Shaftebury Park. Plusieurs acquéreurs se conduisirent tellement mal que des locataires des maisons voisines donnèrent congé; il y eut des non-valeurs, ce que voyant la Société racheta au triple de leur prix de revient les immeubles qu'elle avait vendus. A partir de ce moment, elle put placer de nouveau les obligations hypothécaires dont elle ne trouvait plus l'écoulement.

Si nous admettons la vente de maisons pour une famille, il n'en est pas de même de celle des portions de maisons telle qu'elle est en usage dans quelques départements français et dans plusieurs pays étrangers, notamment en Écosse.

Une loi spéciale relative à la vente des parties de maisons a été promulguée en Angleterre pour éviter les procès qui doivent surgir de la jouissance en commun d'une propriété. Cette loi a été peu appliquée, car nous avons trouvé dans l'ouvrage intitulé *le Logement du Pauvre et de l'Ouvrier*, qu'en 1888, aucun ouvrier n'avait encore bénéficié de ses avantages.

Les inconvénients des maisons à étages sont nombreux. Bien des personnes préconisent des maisons mixtes pour que l'ouvrier soit en contact avec les personnes d'une situation plus aisée que la sienne. Elles espèrent que la vie en commun contribuera à diminuer l'hostilité qui règne entre les diverses classes de la société française.

D'après nous, le système des maisons mixtes peut être appliqué dans certaines petites villes de province, mais dans les grandes cités, à Paris, par exemple, il est inapplicable. Dans toutes les maisons modernes un peu confortables, il y a un escalier de service pour desservir les étages supérieurs où logent en général

les domestiques. Nous avons très rarement vu des ouvriers habiter ces étages par la raison qu'ils considèrent le domestique comme un être d'une espèce inférieure à la leur. Nous ne sommes pas partisan de la méthode qui consiste à grouper les domestiques sous les combles, car il suffit d'être un peu au courant de leur manière de vivre actuelle pour chercher à modifier les conditions de leur existence ; malheureusement, nous ne pouvons pas changer un usage aussi entré dans nos mœurs.

La Compagnie d'assurances *Le Phénix* a construit des maisons mixtes pour employés et ouvriers. Elle dispose les appartements dans une maison en façade sur un boulevard et les logements d'ouvriers dans un corps de bâtiment situé dans une cour.

Les résultats pécuniaires de cette combinaison ne sont pas très avantageux. Nous croyons que lorsqu'on adoptera le système des maisons pour plusieurs familles, il sera préférable de construire des habitations spéciales pour ouvriers et petits employés comme l'on fait avec succès de grandes sociétés dans les principales villes de France et de l'étranger, ainsi que l'ont démontré les divers documents exposés dans les galeries de la section d'économie sociale.

Conditions auxquelles doivent satisfaire les habitations ouvrières convenables. — Une habitation ouvrière convenable doit être à la fois salubre, solide et économique.

Elle doit être 1° salubre, parce que la santé d'un ouvrier est souvent son seul capital et qu'il la perd bientôt lorsqu'il habite une maison malsaine. Lorsque la maladie frappe un chef de famille, la misère avec son hideux cortège prend bientôt possession de son foyer ;

2° Solide, pour éviter les réparations coûteuses ;

3° Economique, car l'ouvrier se guide sur le bon marché lorsqu'il choisit un logement.

Il est très difficile de réunir ces trois conditions et dans la plupart des cas il faudra se contenter d'une solution approximative ; nous allons par suite étudier d'une façon détaillée les conditions auxquelles doivent satisfaire les habitations ouvrières convenables de façon à ce qu'un constructeur puisse en tenir compte le plus possible en les établissant.

Conditions de salubrité d'une maison. — Pour qu'une maison soit salubre, il faut qu'elle soit établie sur un terrain bien choisi, qu'elle soit bien construite et qu'elle ne renferme pas un nombre d'habitants trop élevé.

Lorsqu'on choisira un terrain, il faudra s'assurer de sa composition de façon à ce qu'on soit certain qu'il ne dégagera pas de matières délétères, qu'il ne sera pas humide.

On évitera tout voisinage pouvant dégager des émanations nuisibles et on adoptera une altitude moyenne.

En général on n'est pas libre de choisir son terrain, par suite on a recours aux procédés de l'art de la construction pour l'assainir le plus possible.

Construction d'une maison salubre et commode. — Pour construire une maison il faudra employer de bons matériaux et les disposer de façon à éviter l'humidité. Une bonne toiture est essentielle à la conservation d'un bâtiment. Les murs extérieurs doivent être recouverts d'un enduit imperméable. Pour empêcher l'humidité du sol de monter dans les murs on disposera un peu au-dessus de ceux des fondations une couche de matière isolante (asphalte, lame de plomb, verre pilé, mortier de ciment).

Pour assainir une maison il est utile de l'élever sur cave. Quelquefois on se dispense de creuser la cave sous toute la maison. Lorqu'il est impossible de construire une cave, par exemple, par suite du peu de profondeur de la nappe des eaux souterraines, on place le plancher à $0^{m},50$ du sol et on perce des ouvertures dans les murs de façon à établir un courant d'air sous le parquet du rez-de-chaussée.

Entre la toiture et le plafond du dernier étage on ménage une couche d'air pour rendre les pièces de cet étage habitables.

D'après M. Muller les maisons à rez-de-chaussée sont insalubres. Nous ne croyons pas que les maisons à rez-de-chaussée soient malsaines quand elles sont bien construites. D'après M. Guary qui a construit 2 600 maisons pour loger les mineurs de la Compagnie d'*Anzin* dont il est le directeur, la morbidité n'est pas plus considérable dans ses maisons à rez-de-chaussée que dans les autres.

Les logements d'ouvriers doivent être pourvus de toutes les dispositions propres à faciliter la tâche de la ménagère et à l'encourager de tenir convenablement sa maison.

Chauffage. — Le service du chauffage doit être bien étudié. La cuisson des aliments devrait se faire dans une pièce spéciale, mais en général c'est toujours dans la chambre où la famille se réunit que la femme prépare les repas. Dans ce cas il est indispensable de ventiler énergiquement la pièce. A cet effet on place à côté du tuyau de fumée une gaine de ventilation d'une surface quatre fois plus considérable. Cette disposition est surtout employée dans les pays du Nord, où l'on chauffe tout le logement avec un seul appareil. Dans nos pays, on emploie divers appareils, dont le plus connu est la cheminée de concierge, pour permettre à la ménagère de n'allumer qu'un seul feu. Lorsque l'on veut utiliser pour le chauffage la chaleur produite pour cuire les aliments on fait passer les produits de la combustion dans une série de tuyaux que l'on dispose dans les pièces que l'on désire chauffer. En été on envoie directement les produits de la combustion dans la cheminée. Ce résultat s'obtient facilement à l'aide d'un registre.

Ordures. — Les ordures provenant du ménage constituent un excellent engrais, elles sont employées en général. Dans quelques grandes villes, à New-York, par exemple, on les brûle.

Eaux ménagères. — Les eaux ménagères sont également utilisées dans l'agriculture, malheureusement dans bien des cas elles sont perdues soit dans des égouts, soit dans des puisards. Dans le second cas, lorsque le puisard n'est pas étanche, les eaux ménagères peuvent causer des dommages au point de vue de la santé publique, c'est pourquoi l'administration interdit l'établissement de puits perdus dans la plupart des communes.

Vidange. — Le service de la vidange est également intéressant à étudier. Beaucoup de personnes prétendent qu'il faut placer les cabinets hors du logement. Nous croyons que cette disposition est vicieuse car d'une part elle peut causer des maladies et d'autre part les ouvriers sont aussi propres que bien des personnes de la classe aisée. Nous avons remarqué dans nos visites, des privés placés dans l'intérieur de petits logements tout aussi bien tenus que dans n'importe quel hôtel princier. La condition principale qu'il faut s'attacher à remplir c'est de donner un cabinet à chaque ménage et quand cette condition est trop difficile à remplir, il est nécessaire d'affecter un privé à l'usage de chaque sexe.

Construction économique d'une maison. — Pour construire économiquement une maison, il faut se servir autant que possible de matériaux qui se trouvent sur place. En faisant les fouilles pour les caves on trouve soit de la terre à briques, soit du sable, soit des moellons.

Avec le sable extrait et du ciment on peut faire à très bon compte des briques en béton. Lorsque la main-d'œuvre est à un prix élevé, on a tout intérêt à faire venir des endroits convenables des matériaux de construction travaillés.

A Paris on peut réaliser 50 % d'économie sur les prix ordinaires en faisant venir de Suède des bois ouvrés (fenêtres, portes, parquets) ; de l'Autriche on peut tirer de la quincaillerie, de la Belgique des cheminées, etc.

Lorsque l'on construit pour des ouvriers il faut viser le plus possible à l'économie tout en donnant aux constructions une solidité suffisante. En Angleterre, on ne construit les maisons que pour une durée limitée par suite du système de baux emphytéotiques qui est en usage dans ce pays, c'est pourquoi on sacrifie souvent la solidité à l'économie. Quelquefois il y a avantage pour les acquéreurs à faire l'acquisition d'une maison vendue bon marché grâce à sa construction légère. L'avantage existe quand l'habitant peut faire lui-même ses réparations et quand le terrain acquiert une plus-value certaine.

Le prix de revient d'un logement d'ouvrier ne dépend pas toujours du nombre d'étages de la maison dont il fait partie. En principe, plus il y a d'étages dans

une habitation, moins le prix de revient d'un mètre carré de surface de logement est élevé ; en pratique il se présente souvent des cas où il est plus avantageux au point de vue économique de construire des maisons à rez-de-chaussée. Dans une construction à rez-de-chaussée, on n'a pas besoin d'escalier, de plus il est inutile de donner au plancher du grenier la solidité qu'on donne à celui d'un étage. Il m'est arrivé d'établir dans Paris des maisons à rez-de-chaussée sur caves dans lesquelles le mètre carré de logement revenait à 75 francs, tandis qu'il coûtait 100 francs dans une maison à étages.

Lorsque le terrain a été remblayé et qu'il nécessite des fouilles profondes le prix de la construction est sensiblement élevé, par suite quand il a peu de valeur il est bien plus avantageux d'y faire des constructions légères.

Ce qui augmente le prix du loyer d'une maison pour une famille ce sont ses charges bien plus élevées comparativement que celles d'un logement situé dans une maison à étages. Ainsi à Paris, les charges d'un logement de 300 francs situé dans une maison à étages sont insignifiantes, tandis qu'elles s'élèvent jusqu'à une valeur de 120 francs lorsque le logement constitue une maison pour une famille.

Ces charges se décomposent de la façon suivante :

Viabilité, éclairage, curage d'égout	16
Vidange	40
Fourniture d'eau	28
Impôts	36
	120

Ainsi qu'on le voit nous ne tenons pas compte dans notre évaluation des frais d'entretien de la maison, ni de l'amortissement du capital employé à sa construction, ni des frais de gérance.

Les frais relatifs à la viabilité, à la fourniture d'eau, aux impôts pourraient être diminués par les pouvoirs publics, nous y reviendrons ; quant à ceux qui résultent de la vidange, ils sont dûs au manque de concurrence des industriels qui se chargent de l'effectuer.

Nous citerons le système très économique de privés à terre sèche ou à cendres très usités en Angleterre et en Amérique.

On trouvera les plans de plusieurs de ces appareils dans l'ouvrage intitulé: l'*Economiste pratique.*

MM. Menier à Noisiel, se débarrassent très économiquement des vidanges en employant le système Goux, qui consiste à recevoir les vidanges dans des tinettes

dont les parois sont garnies de substances absorbantes telles que paille, débris de végétaux, etc.

L'évacuation des eaux ménagères peut être obtenue à peu de frais au moyen de canalisations de faible diamètre qui aboutissent à des réservoirs d'où on les extrait pour les déverser sur les terres. La plus belle application de ce système a été faite par M. Pullmann dans Pullmann City, près de Chicago.

La question des dépendances des habitations ouvrières est en général peu étudiée en France ; il serait désirable de voir nos sociétés savantes mettre à l'ordre du jour de leurs séances la solution de problèmes relatifs au chauffage des petits logements, à l'évacuation des eaux ménagères, au service des vidanges, etc.

DEUXIÈME PARTIE

Moyens de provoquer la construction de petits logements convenables

En examinant les documents exposés en 1889, on voit que beaucoup d'industriels logent convenablement leurs ouvriers moyennant des prix très modiques. Beaucoup d'entre eux font des sacrifices. M. de Naeyer vend ses maisons moyennant une annuité qui est inférieure au prix du loyer d'une habitation de superficie équivalente ; M. Dolge loue moyennant 150 francs des maisons qu'il vend 7 000 francs ; la Compagnie des Mines d'Anzin retire un demi pour cent des capitaux consacrés à loger 2 700 familles.

Malheureusement tous les industriels ne peuvent disposer de capitaux assez importants pour loger leur personnel ; par suite ce dernier est obligé d'habiter dans les maisons créées par la spéculation. Les spéculateurs ne sont pas philantrophes, par suite, ils louent leurs locaux de façon à en retirer un prix rémunérateur ; le mètre superficiel coûtant cher à établir et l'ouvrier consacrant le moins possible de son salaire à son logement, il en résulte que les habitations qu'on lui loue ont une surface trop restreinte, et qu'en les habitant il est exposé à tous les maux qui proviennent de l'encombrement. On évalue facilement les dommages causés par les mauvaises conditions du logement des travailleurs, il suffit de consulter à cet effet les tables de la mortalité. Dans les quartiers ouvriers mal habités cette mortalité s'élève à 36 0/00, proportion double de ce qu'elle est dans

les quartiers riches. Pour démontrer que cette mortalité excessive est due aux conditions du logement, l'Association Métropolitaine de Londres a construit des logements modèles dans les quartiers les plus encombrés de Londres, et elle a démontré qu'il n'y avait pas plus de décès dans ses maisons que dans les habitations où logent les personnes les plus aisées.

MM. Muller et Cacheux ont consacré un chapitre entier de leur ouvrage (1) sur les habitations ouvrières en tous pays à la démonstration de l'influence du logement sur la vie des habitants, et ils ont démontré à l'aide de la statistique que non seulement la vie du travailleur était augmentée lorsqu'il habitait un logement salubre, mais que son état matériel et moral était notablement amélioré.

L'amélioration du logement des ouvriers a été entreprise du reste par tous les corps constitués ainsi que nous allons l'exposer ci-après.

C'est en Angleterre, pays de l'industrialisme par excellence, que l'état du logement des travailleurs a produit les dommages les plus considérables, c'est pourquoi l'on a compris de bonne heure qu'il valait mieux prévenir le mal que le guérir et qu'il était urgent de consacrer une partie des fonds destinés à soulager les malheureux, à la réforme des habitations malsaines dans lesquelles ils végètent.

Le mouvement fut inauguré en 1842 par *The Society for improving the dwellings of the laborious classes,* fondée sous les auspices des personnages les plus importants de l'Angleterre. Les résultats obtenus par la Société furent tels que de tous côtés on chercha à donner des habitations saines aux travailleurs.

Nous allons passer en revue ce qui a été fait jusqu'ici dans ce sens par les administrations ainsi que par l'initiative privée et nous indiquerons ce qui pourrait être fait par les intéressés.

Action des Souverains.— Dès le XVIe siècle, Christian IV, roi de Danemark fit construire pour les ouvriers de la marine des maisons avec jardin. En 1852, le prince Albert fit dans le parc de l'Exposition de Londres deux maisons ouvrières modèles. Napoléon III consacra 500 000 francs pris sur sa cassette particulière, à l'érection de 41 maisons, sises avenue Daumesnil, et il les donna à la Société coopérative des ouvriers de Paris. Le roi d'Espagne Alphonse XII fit élever à ses frais cinq maisons d'ouvriers à Madrid. Léopold, roi des Belges prit un grand nombre d'actions des Sociétés immobilières créées pour établir des habitations ouvrières.

Action des États. — Les États ont agi au point de vue législatif, au point de vue moral et au point de vue pécuniaire.

Beaucoup de lois ont été promulguées pour améliorer les habitations ouvrières

1. Habitations ouvrières en tous pays par Muller et Cacheux. — Baudry et Ce.

ainsi qu'on peut le voir dans l'intéressant ouvrage de M. Antony Rouillet secrétaire du Congrès des habitations à bon marché. En général, les lois répressives n'ont aucune action, car on peut forcer un propriétaire à posséder des logements en bon état, mais on ne peut le contraindre à les louer avec perte. Les lois qui favorisent la construction des petits logements en exemptant d'impôts les constructions neuves, en diminuant les frais de transmission de propriétés, en réduisant les frais d'expulsion des mauvais locataires comme cela se fait en Belgique, ont beaucoup plus de succès. En France il nous reste encore beaucoup à faire au point de vue législatif pour provoquer la construction d'habitations ouvrières.

L'État peut faire beaucoup au point de vue moral. Comme en Belgique les ministres peuvent envoyer des circulaires engageant les autorités communales à donner lieu à l'assainissement des habitations ouvrières.

L'État peut provoquer des concours d'habitations ouvrières modèles, faire exposer dans les écoles les avantages des habitations salubres, faire traduire, comme le Gouvernement l'a fait en France, des manuels de constructions économiques et les répandre à profusion; établir une statistique démontrant l'influence du logement sur la santé, etc. Au point de vue pécuniaire, les États peuvent imiter l'État anglais qui prête des fonds, à un taux peu élevé, aux sociétés qui construisent des habitations ouvrières convenables, et les louent à des taux raisonnables. Nous ne conseillerons pas d'imiter l'État français, qui consacra dix millions à l'amélioration des habitations ouvrières, et les employa de la façon suivante :

Deux millions furent consacrés à la construction de 17 maisons à cinq étages. Seize d'entre elles furent divisées en petits logements que l'on loua à des employés et à des ouvriers, et la dix-septième habitation fut destinée à des célibataires. Malheureusement, les loyers exigés par l'État furent trop élevés pour les ouvriers, et le Gouvernement, voyant que ses sacrifices ne profitaient qu'à des personnes aisées, loua ses maisons en principale location, de façon à en retirer un intérêt rémunérateur, sans s'inquiéter de la profession de ses locataires.

L'hôtel pour célibataires n'est pas loué de façon à donner des bénéfices, et il est habité par des employés.

Deux autres millions furent donnés, à titre de subventions, à des constructeurs d'habitations ouvrières, à raison d'une indemnité égale au tiers de la dépense. Par suite des clauses du cahier des charges imposées aux constructeurs, la spéculation arriva à louer des logements identiques en apparence à ceux qui étaient subventionnés; il en résulta que l'État, faute de demandes, fut obligé de consacrer les six millions qui lui restaient à la construction des hospices de Vincennes et du Vésinet.

Parmi les sommes dépensées en subvention, il y en eut une, d'une valeur de 300.000 fr. qui fut donnée à la Société des Cités ouvrières de Mulhouse; elle les employa à faire des rues, des squares, des égouts, en un mot, à créer une cité ouvrière modèle.

Un grand nombre de personnes sont hostiles à l'intervention de l'État dans l'établissement d'habitations ouvrières. Nous ne sommes pas de cet avis, car tant que l'État consacrera l'argent des contribuables à subventionner des théâtres, des courses de chevaux, des établissements d'élevage d'animaux, etc., nous ne voyons pas pourquoi il ne chercherait pas à améliorer l'état des habitations ouvrières, quand il sera démontré que la spéculation n'arrive pas à en établir un nombre suffisant. Ce que nous venons de dire pour l'État, s'applique aux municipalités.

En Angleterre, plusieurs membres du clergé ont démoli des habitations ouvrières malsaines, et ils les ont remplacées à leurs frais par un nombre égal de logements salubres. Les médecins de Copenhague ont suivi cet exemple en constituant une société qui a amélioré près de 200 logements.

Les bureaux de bienfaisance sont intervenus en Belgique d'une façon active dans la construction des logements d'ouvriers, car ils admettent que l'argent dépensé ainsi diminue de beaucoup le nombre des indigents. Les bureux de bienfaisance d'Anvers, de Wavre, de Mons, de Nivelles ont établi un grand nombre de maisons qu'ils ont vendues ou louées. Nous admettons, dans des circonstances spéciales, l'intervention des bureaux de bienfaisance ; ainsi, à Paris, l'Assistance publique sous ses terrains à des malheureux qui y établissent des masures qui sont de véritables foyers d'infection, non seulement pour les habitants, mais pour les voisins. Nous verrons avec plaisir l'Assistance publique élever des baraquements provisoires, conformément aux lois de l'hygiène, et les louer en attendant la plus-value des terrains qui ne peut manquer d'arriver.

Les caisses d'épargnes étrangères provoquent l'amélioration des petits logements en mettant à la disposition de leurs constructeurs des capitaux à un taux peu élevé. En France, on voudrait aller plus loin. Le bureau de bienfaisance de Strasbourg commença, il y a une vingtaine d'années, à construire des logements d'ouvriers et à les louer.

Les résultats furent très heureux. La Caisse d'Épargne de Lyon prêta une partie de ses réserves au taux de 3 % l'an à MM. Mangini et Gillet, qui purent ainsi augmenter le nombre de leurs petits logements.

A Marseille, grâce à M. Rostand, la Caisse d'Épargne a construit des logements d'ouvriers, et elle va prêter des fonds aux ouvriers qui construiront des habitations suivant des plans approuvés.

Nous n'engagerons pas beaucoup les caisses d'épargne à employer leurs capitaux, soit à construire des maisons, soit à les prêter sur hypothèques, mais nous ne voyons aucun inconvénient à ce qu'elles achètent des obligations hypothécaires émises par des sociétés bien dirigées, fondées pour améliorer les petits logements.

Action de la bienfaisance. — La bienfaisance peut agir d'une façon plus

ou moins éclairée. Nous n'aimons pas beaucoup le système qui consiste à loger gratuitement les ouvriers sans s'inquiéter de leur manière de vivre. Nous applaudissons aux efforts faits par des dames telles que Miss Octavia Hill à Londres, Miss Collin en Amérique, qui visitent fréquemment les logements occupés par les personnes qu'elles patronnent et qui éliminent celles qui sont peu dignes d'intérêt.

Nous approuvons également les Sociétés fondées pour aider les familles honnêtes à payer leurs loyers, mais nous ne conseillons pas de suivre l'exemple donné par le duc de Galliera qui dépense deux millions à Gênes pour loger gratuitement des individus incapables de payer momentanément leurs loyers.

Nous préférons de beaucoup le système Pea Body qui consiste à louer des maisons de façon à faire rapporter 3 % au capital et à employer le produit net à faire de nouvelles maisons. Grâce à ce système les administrateurs du legs Pea Body logent aujourd'hui près de 25 000 personnes. A la suite de la publication d'un livre *Le Devoir Social* de M. Picot, la Société philantropique a employé une donation de 600 000 francs faite par M. Heine à la construction de maisons à étages situées rue Jeanne Darc et boulevard de Grenelle. Nous approuvons le système, mais nous ne recommandons pas la distribution des maisons comme modèle à suivre.

Nous serions très heureux de voir les personnes charitables payer les loyers des malheureux incapables de le faire, de façon à engager les constructeurs à élever le plus possible de maisons à petits logements, car la bienfaisance privée a ses limites et elle n'arrivera jamais à mettre à la disposition des travailleurs un nombre suffisant de logements convenables.

Action des industriels. — Les industriels sont les plus intéressés à la construction de logements sains et commodes, c'est pourquoi beaucoup d'entre eux font de grands efforts pour en provoquer l'établissement.

Les uns donnent gratuitement le terrain nécessaire à la construction, d'autres fournissent des matériaux ou de l'argent qu'ils prêtent sans intérêts ou à de bonnes conditions enfin un grand nombre de patrons établissent eux-mêmes des maisons qu'ils mettent à la disposition de leurs ouvriers, soit en les louant, soit en les vendant à des prix au-dessous de leur valeur réelle. Nous avons remarqué que dans plusieurs industries, on logeait gratuitement les employés et une certaine partie des ouvriers. Cet usage existe dans la cristallerie de Baccarat depuis le milieu du siècle dernier. Nous ferons remarquer que jusqu'à présent ce sont les industriels qui ont établi les maisons les plus convenables pour ouvriers. Le plus bel exemple de constructions ouvrières est fourni par M. Pullmann qui a créé la ville qui porte son nom pour loger le personnel de ses usines. Avant de construire une seule maison, M. Pullmann dépensa cinq millions pour faire les rues, établir deux canalisations, l'une pour les eaux pluviales, l'autre pour les

eaux ménagères, aménager des squares, etc. Les eaux ménagères et toutes les ordures sont employées dans une ferme de 35 hectares de superficie, susceptible d'utiliser les résidus du ménage produits par 15 000 personnes, jusqu'à présent Pullmann City n'en contient que 12 000. Les logements sont loués car M. Pullmann ne veut pas vendre à ses ouvriers une maison qui n'aurait plus de valeur si son usine était fermée.

Un autre exemple de maison confortable est fourni par M. Dolge en Amérique. Cet industriel met à la disposition de ses ouvriers moyennant un loyer annuel de 150 francs des maisons qui contiennent 7 pièces. Il leur fournit à très bon compte un éclairage obtenu par l'électricité produite par un moteur hydraulique.

Dans notre vieux monde nous citerons M. de Naeyer à Willebrœck qui fournit à ses ouvriers des logements très confortables moyennant un prix très minime. M. de Naeyer obtient ses maisons à très bon compte en fabriquant lui-même les briques qui entrent dans les constructions et en utilisant son personnel pour faire les plans et conduire les travaux. M. Fanien à Lillers (Nord) en construisant lui-même et en appliquant à la construction ses aptitudes d'industriel émérite arrive également à établir pour 1.800 francs des maisons contenant cinq pièces.Ces deux industriels ont obtenu une médaille d'or.

Action de la spéculation. — La spéculation est la seule force capable de mettre à la disposition des ouvriers un nombre suffisant de petits logements. A Londres, à Anvers et dans diverses autres villes la location des maisons ouvrières permet de rémunérer largement le capital. A Paris il n'en est pas de même, les causes principales sont les suivantes : Les ouvriers ont l'habitude de demeurer dans des logements composés de deux pièces, car d'une part ils ont peu d'enfants et d'autre part ils aiment à passer la soirée dans les squares ou dans les nombreux établissements de plaisir qui fourmillent dans la capitale ; d'un autre côté les habitations ouvrières sont construites par des entrepreneurs qui emploient des matériaux de démolition et qui établissent des logements à un prix tellement bas qu'un bon constructeur ne peut l'atteindre. D'après les architectes de la Ville de Paris qui ont fait des projets de maisons d'ouvriers on ne pouvait pas retirer plus de 3 % des capitaux nécessaires pour mettre leurs plans à exécution. Il n'en est pas de même des entrepreneurs qui bâtissent sans le secours d'un architecte et qui faisant eux-mêmes toutes les réparations obtenaient aisément plus 5 % de leurs capitaux quand la population de Paris augmentait dans de notables proportions. Depuis que cette population décroît ou du moins reste stationnaire, les maisons rapportent fort peu.

Leur rapport diminue surtout depuis l'établissement des grands magasins qui font tomber une à une toutes les petites boutiques qui représentaient souvent le tiers du rapport brut d'une maison divisée en petits logements.

La Société philanthropique vient encore de créer une concurrence sérieuse aux constructeurs de maisons d'ouvriers à étages. Elle ne veut retirer que 4 % de ses capitaux, elle ne loue qu'à des personnes connues, soutenues au besoin par des membres de la Société, par suite elle peut réduire considérablement les charges des maisons qui dans certains cas s'élèvent jusqu'à 35 % de revenu brut. Nous ne croyons pas que d'ici longtemps la spéculation s'occupera de construire à Paris des logements convenables pour ouvriers, c'est-à-dire composés de trois pièces et d'une cuisine car il faudrait que les ouvriers fussent disposés à consacrer une somme suffisante à leur loyer et surtout à les payer régulièrement.

La construction de petites maisons pourra être rémunératrice, car elle permet de tirer parti de plusieurs forces représentées par la réunion d'un grand nombre d'hommes obligés de demeurer à peu de distance les uns des autres.

Lorsqu'on est certain d'avoir des locataires on peut acheter du terrain en culture, le lotir à peu de frais et le revendre au prix du terrain à bâtir.

Pour amener du monde sur les terrains on peut construire quelques maisons et les revendre soit à prix coûtant, soit à perte. La perte que l'on fait dans ce cas est amplement compensée par la revente des terrains.

On peut également prêter des fonds sur hypothèque aux personnes qui veulent construire elles-mêmes et mobiliser les créances obtenues en émettant des obligations foncières.

Ces trois principes ont été mis en pratique par les *building societies* qui fonctionnent avec tant de succès en Angleterre et en Amérique, MM. Muller et Cacheux ont décrit d'une manière détaillée leur fonctionnement, dans l'ouvrage intitulé *Les Habitations ouvrières en tous pays*, et ils ont donné des chiffres qui indiquent leur importance. Nous ne donnerons ici que quelques détails sur leur fonctionnement.

Un certain nombre d'ouvriers s'associent pour acheter un grand terrain de culture. Ils le lotissent et se le partagent.

Pour construire ils s'adressent à une *building society* qui leur prête des fonds représentant les trois quarts environ de la valeur de la maison à construire, et qui leur donne un délai d'une vingtaine d'années pour se libérer. Des villages entiers ont été formés grâce à cette combinaison.

Les ouvriers qui veulent fonder une *building society* s'associent pour mettre leurs épargnes en commun et former des lots d'argent que l'on prête aux membres en suivant diverses méthodes.

Pour obtenir des capitaux, les *building societies* émettent des obligations libérables par petits versements qui donnent droits à des intérêts dont le taux est supérieur à celui de 5 %. Grâce à ce procédé, les personnes faisant de petites économies on recours aux *building soeicties* et délaissent la caisse d'épargne. Comme la loi interdit aux *building societies* de faire des opérations autres que des prêts hypothécaires, leurs obligations ont une grande réputation de sécurité

et beaucoup d'établissements de bienfaisance en prennent pour placer leurs fonds à un taux rémunérateur.

J'ai essayé de constituer à Paris une société de ce genre. A cet effet, j'ai construit une cinquantaine de maisons suivant une vingtaine de plans différents pour faire voir aux personnes voulant devenir propriétaires le genre de construction qu'on pouvait leur établir pour un prix déterminé, et j'ai acheté de grands terrains en culture que j'ai lotis suivant le système des *building societies*. J'ai offert par voie d'affiches de mettre une société d'ouvriers en mon lieu et place, mais jusqu'à présent je ne suis parvenu qu'à contribuer à fonder la *Société des habitations ouvrières* de Passy-Auteuil qui vend ses maisons par annuités et qui émet des obligations rapportant 4 % d'intérêts.

J'ai la conviction qu'on pourrait arriver à desservir 5 % d'intérêts, mais pour cela il faudrait créer une société composée d'hommes rompus aux affaires et disposant de capitaux importants. Le Congrès des habitations à bon marché a voté une proposition demandant la formation d'une société d'études qui aura pour objet l'établissement d'habitations ouvrières dans de bonnes conditions. J'espère que cette société saura mieux tirer parti que moi des expériences que je poursuis depuis une quinzaine d'années, pour arriver à implanter en France les *building societies* et le goût de la petite propriété.

La figure 1 représente la première opération faite à Paris, par E. Cacheux, pour tâcher d'y provoquer la construction de maisons suivant le système mulhousien combiné à celui des *Building*, sociétés anglaises.

M. Cacheux commença par lotir le terrain au moyen de rues, puis il construisit quatre maisons suivant le système de Mulhouse, une seule de ces maisons fut vendue, par annuités, les trois autres furent louées. Les maisons sur la rue du Tapis-Vert sont louées moyennant une somme de 350 francs, soit 50 francs de moins que celles qui ont façade sur la rue des Bienfaiteurs.

Les inconvénients principaux du groupement par quatre sont les suivants :

1° Lorsqu'une maison est bien exposée, celle qui lui est adossée ne l'est pas ;

2° Les frais de voirie sont très considérables, car à Paris, il faut dépenser 400 francs par mètre linéaire de rue de 12 mètres de large pour pouvoir la faire classer, et la construction d'une maison suivant le système mulhousien exige un terrain ayant 10 mètres de façade au moins.

C'est pour cette raison que M. Cacheux a élevé une dizaine de maisons suivant le type anglais adopté dans le Nord de la France. Les avantages de ces maisons, sont d'avoir : 1° une façade étroite ; des chambres parfaitement éclairées, qu'il est facile de ventiler en ouvrant les portes et les fenêtres ; des murs mitoyens d'une grande surface, qu'on peut exécuter très économiquement, attendu qu'ils sont à l'abri de l'air.

Les autres lots de terrain ont été vendus suivant le système des *Building societies*, c'est-à dire en avançant aux acquéreurs les trois quarts de la somme

nécessaire pour construire à leur guise et en leur donnant 20 ans pour se libérer.

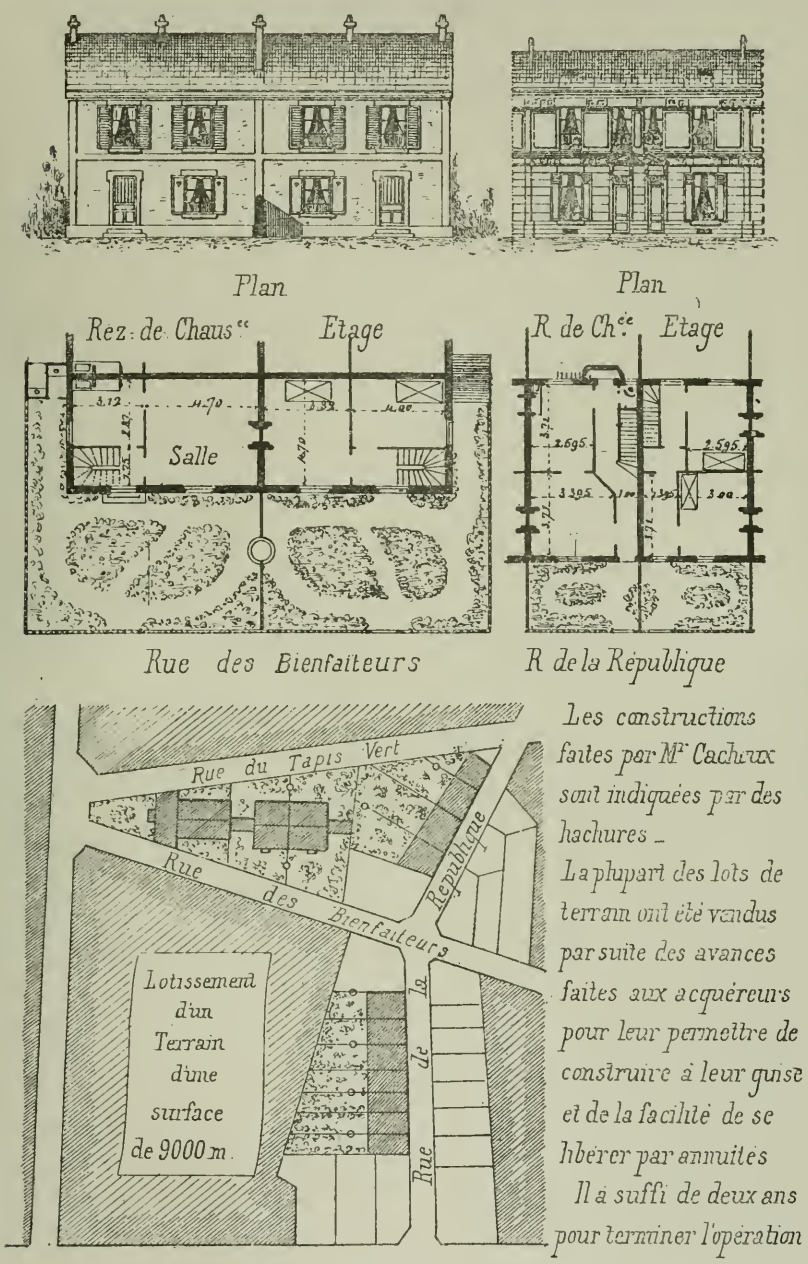


Fig. 1.

Grâce à ce système des acquéreurs en payant annuellement, pendant 15 ans, une

somme de 600 francs ; se sont rendus propriétaires de maisons, louées à raison de 450 à 500 francs par an.

Les figures 2 et 3 représentent la deuxième opération faite par M. Cacheux, pour démontrer la possibilité de construire sur un terrain profond, ayant peu de façade sur une voie classée. — Il suffit à cet effet de placer les jardins bout à bout et de disposer les chambres principales sur les jardins.

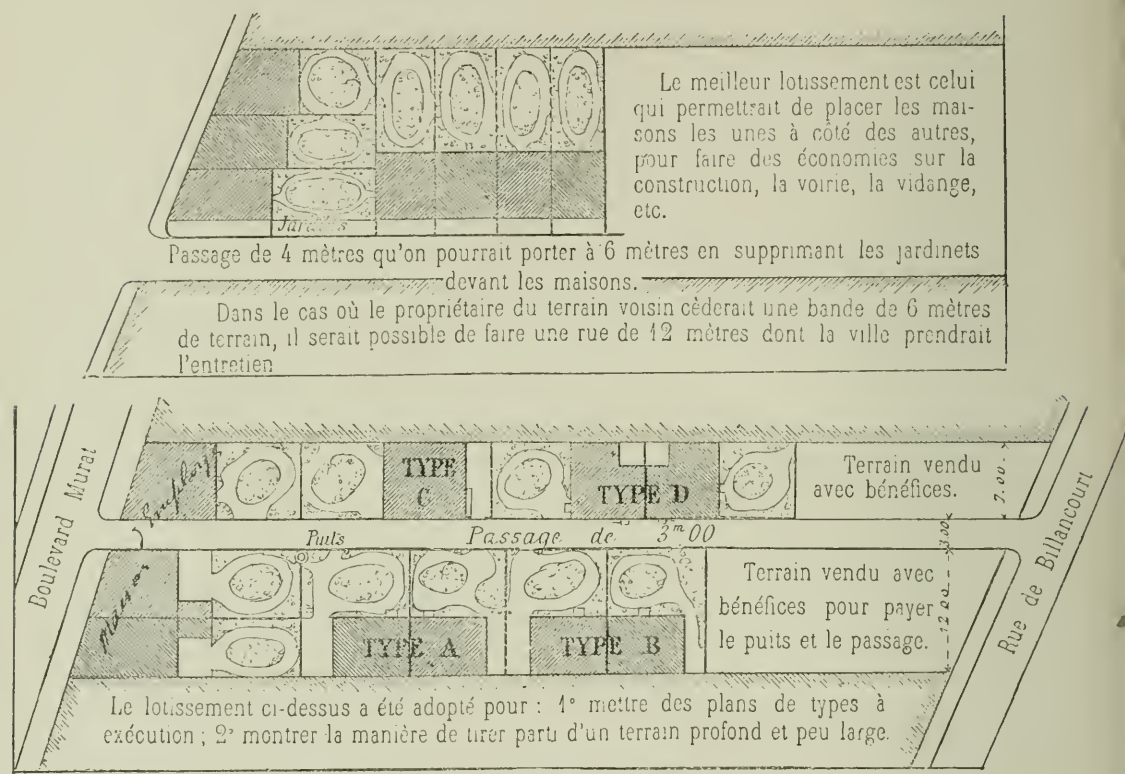


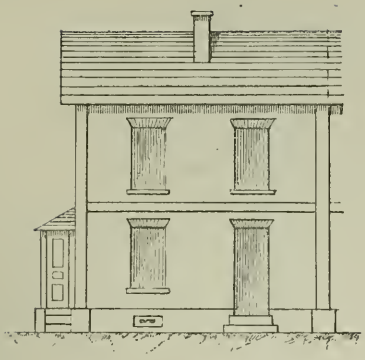
Fig. 2

Les maisons et terrains en bordure de rues ont été vendues à des employés moyennant dse prix rémunérateurs qui ont permis d'établir le passage Murat.

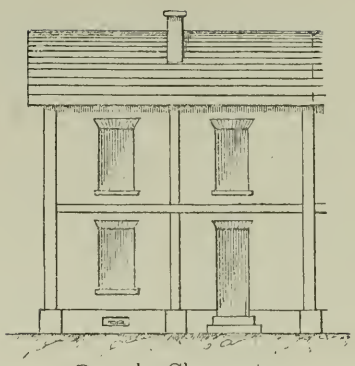
M. Cacheux offrit à divers constructeurs de payer les frais d'établissement de spécimens de leurs constructions sur les terrains de façon à établir un musée de constructions économiques. Aucun n'arriva à construire des maisons pour une famille, à moins de 4 200 francs ; c'est pourquoi il fit une troisième opération, impasse Boileau, où il fit construire dix maisons contiguës contenant chacune trois pièces et une cuisine, moyennant une somme de 36 000 francs.

En adoptant ce système on peut établir à Paris des maisons revenant à

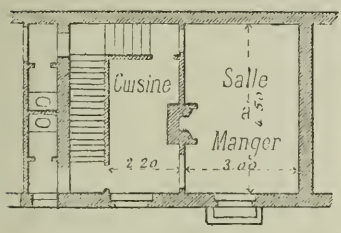
Type A



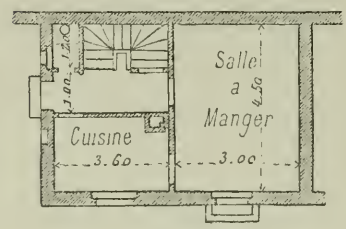
Type B



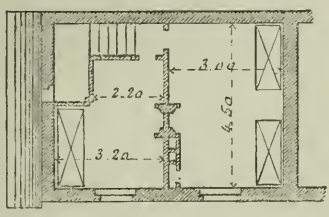
Plan du Rez-de-Chaussée



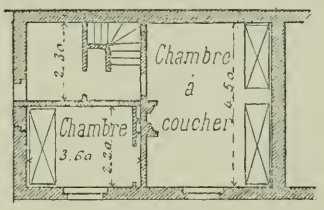
Rez-de-Chaussée



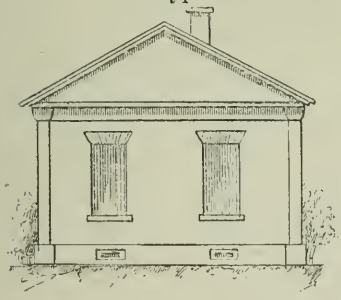
Plan du 1er Étage



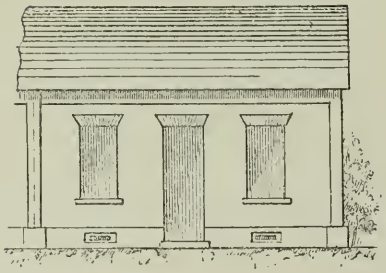
1er Étage



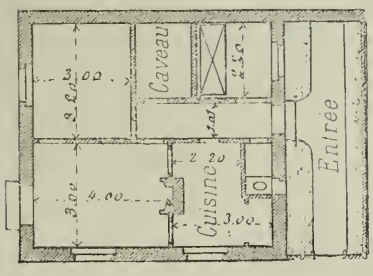
Type C



Type D



Plan du Rez-de-Chaussée



Plan du Rez-de-Chaussée

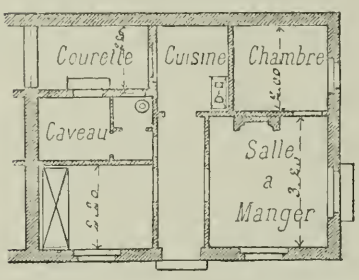


Fig. 3

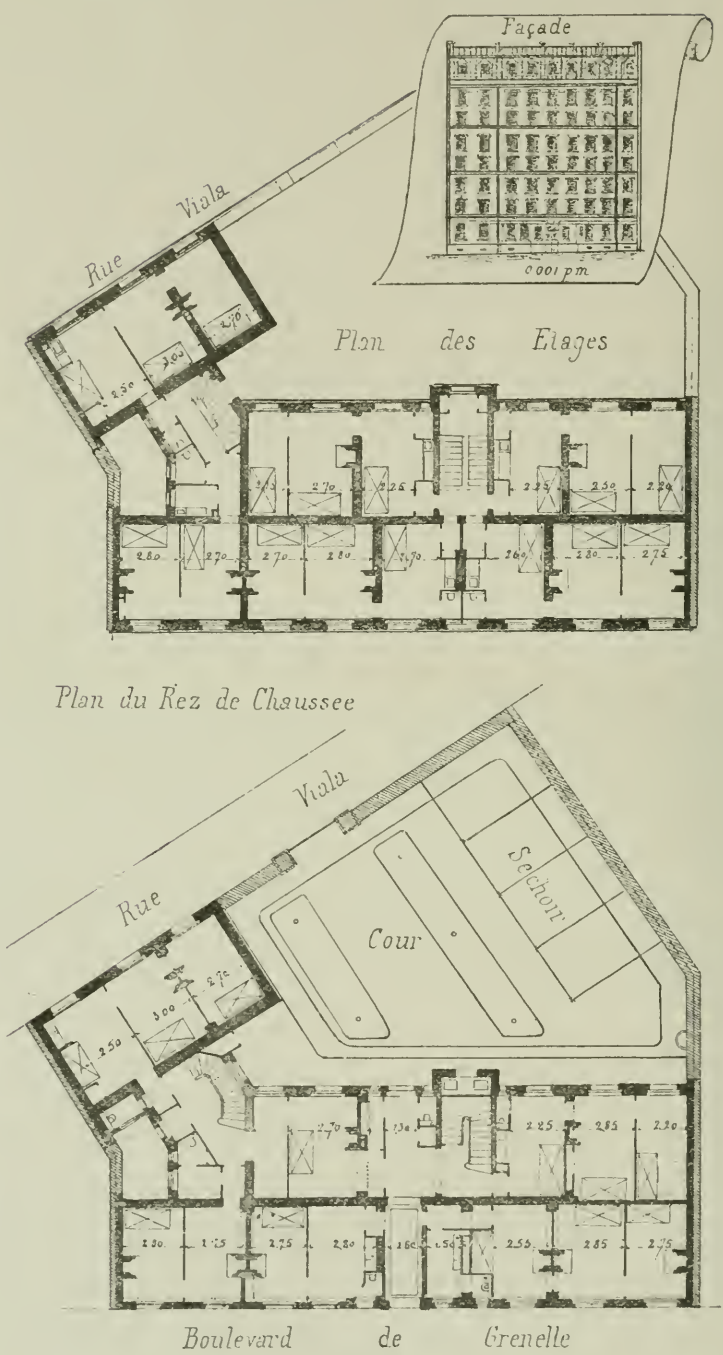

Façade
0001 pm
Rue
Viala
Plan des Etages
Plan du Rez de Chaussee
Rue
Viala
Cour
Sechoir
Boulevard de Grenelle

Fig. 4

Fig. 5.

Élévation des maisons ouvrières à l'Esplanade des Invalides (Exposition de 1889).

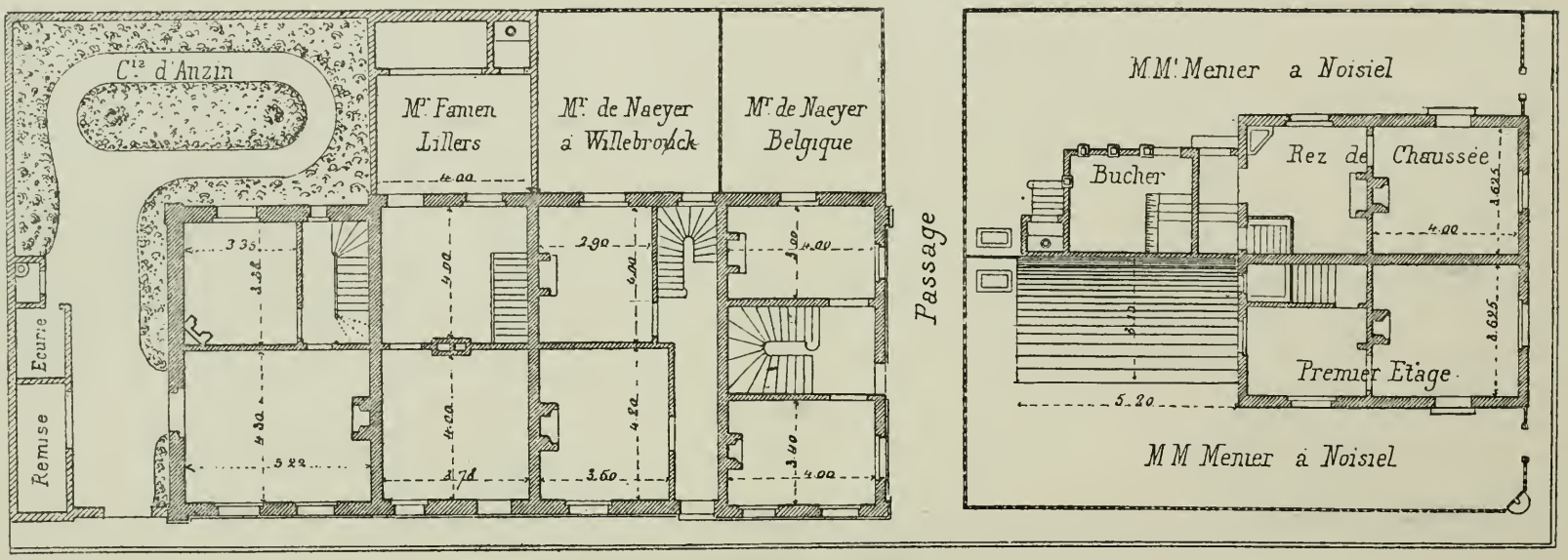


Fig. 6.

Plan des maisons ouvrières construites à l'Esplanade des Invalides pour l'Exposition de 1889.

3 600 francs, en moyenne, ce qui permet de les vendre à raison de 5 000 francs, en tenant compte des frais de clôture de voirie, de canalisation, d'eau potable, etc.

Passage Murat, M. Cacheux a établi divers types de maisons, suivant des plans qui diffèrent un peu du type classique de Mulhouse, car à Paris, il faut tenir compte des habitudes des ouvriers qui exigent un petit vestibule donnant accès à leur logement.

Les maisons d'employés qui ont façade sur le boulevard Murat, sont construites d'après le système anglais. En Angleterre, on construit des maisons à un étage renfermant jusqu'à dix pièces et qui n'ont que 10 mètres de façade. Nous avons donné des plans de ce genre de construction dans l'*Économie pratique*.

Figure 4. Maison à étage construite par M. Chabrol pour le compte de la Société philantropique.

Les logements sont loués de façon à faire rapporter 4 % au capital engagé. En pratique le rendement est inférieur à ce taux malgré la disposition très économique qui a été adoptée par l'architecte. Les logements ayant une seule façade exposée à l'air sont très faciles à ventiler

Figures 5 et 6. Plans des maisons construites sur l'Esplanade des Invalides par MM. Ménier, de Noisiel, de Naeyer à Villebroeck, Fanien de Lillers, et la Compagnie d'Anzin.

Emile Cacheux ✠ ✿,
Lauréat de l'Académie des Sciences morales
et politiques.

TABLE DES MATIÈRES

1re Partie.

L'ARCHITECTURE

Pages

Introduction 1

Les Expositions Universelles
par E. Maindron.

Historique 1
Exposition de 1867. 2
Exposition de 1878 4
Exposition de 1889 7
Administration de l'Exposition Universelle 9

PREMIÈRE PARTIE

L'architecture, les arts du bâtiment, arts décoratifs, hygiène, maisons ouvrières . 11

PREMIÈRE PARTIE

L'Architecture à l'Exposition
par Ch. Labro.

Considérations générales. 14

Palais des machines
par L.-A. Barré.

Historique et ensemble du Palais 21
Fondations 23

Pages
Montage du Palais des Machines 26
Données du problème 26
Système de montage de la Société Cail 27
Grues de montage supérieures 27
Grues latérales de montage 28
Marche générale de montage 29
Montage des pannes et chevrons 29
Rivure. 30
Système de montage de la Compagnie de Fives-Lille 30
Marche générale du montage 32
Levage des pieds-droits 33
Levage des arbalétriers 34
Montage des pannes 35
Menuiserie et parquet du comble 36
Menuiserie proprement dite (Entreprise Laureilhe). 38
Parquetage du rez-de-chaussée (Entreprise Jeanselme) et parquetage du premier étage (entreprise Collet). 38
Couverture 39
Chemin de faîtage. 40
Chéneau sans vitrage 40
Rigoles d'extrados des grandes fermes. 40
Couverture courante 40
Chéneau de la grande nef. 41
Tuyaux de descente. 41
Chéneau des bas-côtés 41
Couverture des bas-côtés 42
Vestibule central du Palais des Machines 42
Comble vitré de la grande nef 43
Echafaudage et pose. 44
Vitrerie des surfaces verticales. 46
Vitrerie des pignons ou des verrières d'extrémités 46
Peinture 46
Éléments décoratifs auxiliaires du fer 47
Décoration intérieure. — Toiles peintes et staffs. 47
Médaillons décoratifs du Palais des Machines 48
Décoration extérieure. — Céramique. — Staff. — Mosaïque de briques 48
Grand escalier du Palais des Machines, côté avenue Suffren . . 49
Vue d'ensemble du Palais prise de l'Ascenseur Edoux 50
Galerie latérale du premier étage. — Pied-droit d'une ferme . . 50
Façade principale du Palais des Machines (côté de l'avenue de Labourdonnais). 51

Echafaudage du plafond de la salle des fêtes du Trocadéro

PAR M. BOURDAIS

Considérations générales 52

Pages
Vue du plafond et des échafaudages en montage 55
L'Escalier de la salle des Congrès, au Trocadéro 58
Considérations générales 58

Le dôme central et les galeries industrielles

ARCHITECTE, M. BOUVARD.

Données générales 60
Groupe III. — Mobilier et accessoires 61
Groupe IV. — Tissus, vêtements et accessoires. 61
Groupe V. — Industries extractives, produits bruts et ouvrés. . 62
Dôme central 64
Données générales 64
Décoration du dôme central 65
Eclairage du soir de la coupole au point de vue de la décoration. 67
Galerie centrale de 30 mètres 68
Dispositions générales et décoration des galeries des expositions diverses 69
Pavillons de raccordement 70
Décoration des Palais des Beaux-Arts et des Arts-Libéraux. — Galeries Rapp et Desaix. 70
Couverture de la coupole du Palais des Arts Libéraux 72
Palais des Beaux-Arts 73
L'Emploi décoratif du fer dans les Palais de l'Exposition de 1889 74
Données générales 74
Les éléments de la décoration dans la construction métallique . 77
Divers modes de levage des fermes métalliques de 25 mètres 79
Société des Ponts et Travaux en fer 80
Procédé de la Société des Forges et Ateliers de Saint-Denis . . 80
Système de levage de la Société des Forges de Franche-Comté. . 81
Procédé de levage de M. Roussel 81
Echafaudage du dôme central 81
Données générales 81
Grandes constructions métalliques de l'Exposition Universelle de 1889 83
Considérations générales sur les constructions métalliques . . 83
Comparaison des fermes des Expositions de 1878 et 1889 87
Galeries de l'Exposition de 1878 comprenant des fermes de 25, 15, 12 et 5 mètres de portée 89
Palais des industries diverses (Exposition de 1889) comprenant des fermes de 30, 25 et 15 mètres de portée 89
Palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux 90
Eléments des quatre pavillons, du dôme d'entrée et des deux vestibules parallèles à la Seine et à l'Ecole militaire (Exposition de 1878). 90
Éléments du palais des Beaux-Arts et des Arts Libéraux de l'Exposition de 1889. 91

Pages
Palais des machines. 92
Palais des Expositions diverses. 92
Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux 92
Tour Eiffel 92
Plan général 93

Palais des machines

Architecte, M. Dutert, Ingénieur, M. V. Contamin.

Ossature du Palais. — Description de la ferme 94
Rideaux en fer des pignons 98
Description des chevrons de la grande ferme de 115 mètres . . 98
Considérations sur les articulations des fermes. — Différence caractéristique entre une ferme à tirant et une ferme à articulations 98
Galeries latérales du Palais des machines. 99
Vitrage, couverture et parquetage du Palais des machines . . . 99
Dépenses se rapportant au Palais des machines. 100
Coupole du Vestibule d'entrée du Palais des machines 101

La Galerie centrale de 30 mètres, le dôme central. — Les Palais des Industries diverses 102
Galerie Centrale de 30 mètres; Architecte, M. Bouvard. 102
Dimensions 102
Pannes et chevrons de la Galerie de 30 mètres 103
Piliers métalliques 104
Pans de fer de la Galerie centrale de 30 mètres 104
Le Dôme-Central des Expositions diverses : Architecte, M. Bouvard; Constructeur, M. Moisant. 104
Mode de calcul des éléments métalliques du Dôme central . . . 105

Le Palais des Expositions diverses

Annexes des Galeries des Expositions diverses. — Galeries de 15 mètres d'ouverture. 107
Dépenses des fermes de 15 mètres d'ouverture 107
Pavillon de raccordement 108
Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux. Architecte, M. Formigé . . . 108
Galeries latérales des palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux. — Fermes de 14m,55 *de portée.* 109
Les galeries Rapp et Desaix. — Fermes de 30 mètres 110

Pages

Fondations des constructions métalliques dans le Champ de Mars . . . 111
Sondages. 111
Palais des Machines. 111
Fondations 111
Fondation du Palais des Beaux-Arts et des Arts libéraux . . . 112
Fondation du Palais des Machines 112

La Tour de 300 mètres.

Historique 114
Résistance et stabilité de l'ouvrage 119
Commission d'examen de la Tour Eiffel 119
1re partie. 122
2e partie 123
Résumé. — Conclusion. 124

Convention 125
Esquisse générale de la Tour. 126

Fondations de la Tour de 300 mètres. 127

Construction métallique de la Tour 129
Poids des plus lourdes charges. 130
Marche du montage. 131
Échafaudages de butées. 131
Boîtes à sable. 132
Presses hydrauliques 132
Montage au-dessus des échafaudages de butée. 133
Grue de montage 134
Planchers de montage. — Escaliers 135
Montage des poutres horizontales du premier étage 136
Échafaudages de montage des poutres horizontales du premier étage. 136
Réunions des piliers avec les poutres horizontales du premier étage 137
Montage des diverses poutres formant les planchers du premier étage. 137
Montage de la Tour du premier au deuxième étage. 138
Monte-charge à vapeur du premier étage. 138
Montage de la Tour du deuxième au troisième étage 138
Relais au deuxième étage et au plancher intermédiaire 140
Renseignements divers. — Dates relatives aux différentes phases du montage. 140
Nombre d'ouvriers 140
Durée des opérations principales 140
Plates-formes. — Campanile. — Décoration de la Tour 141
Escaliers 142
Protection de la Tour Eiffel contre la foudre 143

Pages

Condition de sécurité de la Tour. — Travail maximum du métal dans la Tour en service 143
Prix de revient de la Tour Eiffel 144
Vérification de la verticalité de la Tour Eiffel. 145

Étude sur les habitations ouvrières exposées en 1889

par E. Cacheux

Logement des ouvriers célibataires 147
Logements pour ménages d'ouvriers agricoles et industriels. — Composition d'un logement d'ouvrier 149
Habitation pour une ou plusieurs familles 150
Familistère de Guise. 151
Conditions auxquelles doivent satisfaire les habitations ouvrières convenables 153
Conditions de salubrité d'une maison. 153
Construction d'une maison salubre et commode 154
Chauffage. 154
Ordures 155
Eaux ménagères 155
Vidange 155
Construction économique d'une maison 155

DEUXIÈME PARTIE.

Moyens de provoquer la construction de petits logements convenables. 157
Considérations générales 158
Action des Souverains 158
» des États 158
» de la bienfaisance 161
» des industriels 162
» de la spéculation 162
Plan de M. Cacheux. 1re opération. 165
» » 2e » 167
» » 3e » 168
Élévation des maisons ouvrières à l'Esplanade des Invalides (Exposition de 1889) 169
Plan des maisons construites à l'Esplanade des Invalides pour l'Exposition de 1889. 170

INDEX ALPHABÉTIQUE

B

Pages

Barré 21
Bourdais 52
Bouvard 60, 102, 104, 106

C

Cacheux (Emile) 147, 165
Collet 38
Compagnie de Fives-Lille 30
Contamin 94, 106

D

Dutert 94

E

Edoux 50
Eiffel 92, 143

F

Formigé 108

J

Jeanselme. 38

L

Labro 13
Laureilhe. 38

M

Maindron 1
Moisant. 104

R

Roussel 81

S

Société Cail 27
Société des forges et ateliers de Saint-Denis 80
Société des forges de Franche-Comté 81

GETTY RESEARCH INSTITUTE
3 3125 01032 2895